

CAMINOS DE INGENIEROS

SEBASTIÁN GUERRERO RAMOS

ÓSCAR GUTIÉRREZ-BOLÍVAR • JOAN MORENO • JORDI MORELLÓ
MICHEL ORTIZ • DANIEL RODRÍGUEZ • JAVIER RUI-WAMBA • ANDREU ULIED

...caminos de geólogos
caminos de paisajistas
caminos de arquitectos
caminos de ingenieros forestales
caminos de medioambiente
obras públicas caminos
os de ingenieros de can
minos de geógrafos
caminos de tecnólogos
minos de urbanistas
ernet redes de caminos...



FUNDACION
ESTEYCO

El contenido de este libro lo empecé a gestar en Madrid hace 44 años, en una época de tonos grisáceos donde se atesoraba y se compartía poco el conocimiento. Afortunadamente, yo tuve el privilegio de trabajar al lado de grandes profesionales: norteamericanos, holandeses, polacos, ... de los mejores “trazadistas” del momento, unido esto a las ganas de aprender que tenía de ese mundo de las carreteras, que ya me empezaba a apasionar.

Más tarde, ya formando parte de Esteyco, en la que llevo 31 años, tuve la oportunidad de seguir ampliando mis conocimientos en un ambiente más agradable y fructífero. En el año 1990, Esteyco me dio la oportunidad de trasladarme a Barcelona, como parte integrante del equipo que desarrolló los proyectos de infraestructuras más significativos que se llevaron a cabo durante los años previos a los Juegos Olímpicos. Allí ya se empezó a trabajar en equipo, codo con codo, arquitectos e ingenieros. En gran medida, este libro es fruto de esos trabajos compartidos con los componentes del equipo de arquitectura, algunos de los cuales son autores de los textos que se describen a continuación y que mantienen esa colaboración multidisciplinar.

A Andreu Estany, arquitecto, lo conocí en Barcelona en el año 1990, en la caseta de obra de la “Rambla Prim” en la que hicimos el proyecto y la dirección de los trabajos de la Rambla. A lo largo de estos años, juntos, hemos compartido multitud de estudios y proyectos. Para mí, y no solo para mí, es el arquitecto más completo. No hay ni un solo proyecto de infraestructura que no pase por sus manos y las de su equipo de arquitectura, cómo integrar mejor esta carretera en el territorio, este otro enlace se podría optimizar, cómo encajar mejor este puente, ... todo un ingeniero.

En el año 2001, se incorpora al equipo técnico de la oficina de Barcelona, un joven ingeniero de Madrid, Carlos García Acón, que ya “apuntaba maneras”. Los tres estábamos ubicados en la misma sala y no pocas veces, se generaba un “encendido” debate (arquitectos-ingenieros), como suele comentarlo Carlos, más comedido al recordarlo, pero solo en aspectos técnicos que nunca iba más allá.

Yo, la verdad, recuerdo aquellos años con cariño y gratitud; cariño, por todos los gratos momentos que hemos compartido y la amistad que nos une; y gratitud, por todo lo que he aprendido de los dos, bastante más que el “poso” que yo haya podido dejar.

Gracias.

SEBASTIÁN GUERRERO RAMOS

Para la difusión y el progreso de la Ingeniería y la Arquitectura





En mayo de 1991 se constituyó la Fundación Esteyco con la finalidad de contribuir al progreso de la ingeniería y de la arquitectura en nuestro país.

La situación de precariedad e incertidumbre
en que se ha estado desarrollando la ingeniería española independiente,
ha exigido hasta ahora actitudes básicamente de supervivencia.

El esfuerzo de un creciente colectivo de profesionales y de órganos de la Administración
ha ido, sin embargo, consolidando un sector cuyos servicios
son considerados indispensables en una sociedad moderna y eficiente.

Es tiempo de pensar en el futuro,
confiando en que no tardará en hacerse presente.

Fomentemos, para ello, un clima propicio para la creatividad,
en el que se exija y se valore el trabajo bien hecho.

Contribuyamos a una sólida formación de los profesionales de la ingeniería,
conscientes de que las organizaciones valen lo que valen sus miembros
y de que en la ingeniería el valor de las personas se mide por el nivel de sus conocimientos.

Alentemos mejores y más frecuentes colaboraciones interprofesionales,
eliminando fronteras innecesarias.

Reivindiquemos un espacio cualitativamente destacado de la ingeniería en la sociedad
e impulsemos la evolución de la imperante cultura del hacer
hacia la cultura del hacer pensando.

Consideremos las ingenierías como una prolongación de la Universidad,
en la que se consolida la formación de los jóvenes titulados,
en los años que serán decisivos para su futuro.

Sintámonos involucrados con la Universidad y centros de investigación.
Aseguremos la estabilidad y pervivencia de nuestras organizaciones
y establezcamos los medios para que su vitalidad, garantía de futuro, no se encuentre lastrada.

Valoremos nuestra independencia, no como un arma contra nadie,
sino fundamentalmente como un atributo intelectual inherente
a quienes tienen por oficio pensar, informar y decidir libremente.

JAVIER RUI-WAMBA MARTIJA

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Presidente de la Fundación Esteyco

CAMINOS DE INGENIEROS

SEBASTIÁN GUERRERO RAMOS

PRESENTACIÓN: JAVIER RUI-WAMBA MARTIJA

PRÓLOGO: ÓSCAR GUTIÉRREZ-BOLÍVAR

COLABORADORES: JOAN MORENO SANZ · JORDI MORELLÓ SECANELL · MICHEL ORTIZ VALDÉS
DANIEL RODRÍGUEZ ARANDA · ANDREU ULIED



FUNDACION
ESTEYCO

a Miguel Ángel Fernández y a Javier Rui-Wamba
que me dieron la oportunidad de aprender junto a ellos.

© 2016 Fundació ESTEYCO

© 2016 Textos: Sebastián Guerrero

© 2016 Artículos: Óscar Gutiérrez-Bolívar, Jordi Morelló, Joan Moreno, Michel Ortiz,
Daniel Rodríguez, Javier Rui-Wamba Martija, Andreu Ulied

Edición a cargo de Andreu Estany

Coordinación técnica y Diseño gráfico: Pilar Carrizosa

Diseño de cubierta: Andreu Estany

Focomposición, fotomecánica e impresión: Gràfiques Bassó

Impreso en España

ISBN-13: 978-84-943324-5-6

Depósito Legal: M-40735-2016

1ª Edición. Diciembre 2016

ÍNDICE

JAVIER RUI-WAMBA MARTIJA	PRESENTACIÓN	11
ÓSCAR GUTIÉRREZ-BOLÍVAR	PRÓLOGO	15
	CAMINOS DE INGENIEROS	19
SEBASTIÁN GUERRERO RAMOS	LAS CARRETERAS DEL SIGLO XX,... EVOLUCIÓN E INNOVACIÓN	19
JORDI MORELLÓ SECANELL	<i>A ROAD WITH A VIEW</i>	147
JOAN MORENO SANZ	CARRETERA Y CIUDAD	187
ANDREU ULIED	A MEDIO CAMINO	217
DANIEL RODRÍGUEZ ARANDA	FORMANDO INGENIEROS	231
MICHEL ORTIZ VALDÉS	<i>CONCEPT ROADS</i>	251
	RESEÑAS BIOGRÁFICAS	283



PRESENTACIÓN

JAVIER RUI - WAMBA MARTIJA

La Navidad del 2016 nos trae puntualmente un nuevo e intencionado libro de la Fundación, dedicado en esta ocasión y por primera vez a las carreteras. Lo que bien merece una explicación. Porque podría parecer que al ocuparnos de ellas hemos decidido mirar al pasado y reflexionar sobre unas infraestructuras con muchísimos años de historia detrás, de las que todo está pensado y casi todo escrito; cuyo futuro, ya determinado, no reclama actitudes innovadoras en quienes las conciben, las proyectan, las construyen, las gestionan y las mantienen. Pero la realidad es diferente. Y el porvenir viario, que a duras penas se percibe entre las brumas que envuelven su presente, apunta a transformaciones sustantivas que serán consecuencia de los profundos cambios que estamos viviendo en los últimos tiempos.

Las carreteras del futuro y las carreteras en el futuro continuarán siendo sinónimo de comunicación e instrumento para favorecer la circulación de personas, bienes y servicios. Y las exigencias de comunicación irán a más y no a menos, aunque sin duda serán diferentes de las que se reclaman hoy en día.

Las carreteras, no está de más recordarlo, están emparentadas con las “carretas”, que nacieron cuando los seres humanos inventaron, que no descubrieron, el eje imprescindible para inventar a su vez la rueda.

La invención por Watt de la máquina de vapor gestó los ferrocarriles primero y los coches mucho tiempo después. El motor de explosión ganó la carrera a los motores eléctricos. Tesla nació una pizca tarde y los combustibles fósiles se hicieron así protagonistas. Y los caminos de antaño comenzaron a alfombrarse con pavimentos asfálticos, lo que fue fundamental para que los coches con motores de explosión, provenientes primero de maternidades americanas se fueran haciendo presentes en las geografías de muchos países. Mucho más adelante, las vías de alta capacidad, y alta seguridad, se fueron haciendo protagonistas. Los límites de velocidad se fueron también instaurando con criterios a veces desconcertantes, o con la intención de frenar el dramático e intolerable cortejo de accidentes, asociados a la circulación de vehículos por las carreteras.

(pág. izquierda)

Blue Ridge Parkway, Carolina del Norte.

La seguridad vial tiene una presencia destacada en la concepción y proyecto de una carretera. Y el tiempo de recorrido (que no la velocidad, desdichado concepto entronizado en el siglo XIX) así como el confort y la seguridad asociada a la conducción fueron siendo creciente y merecidamente valorados.

Muchas cosas están pasando en el ámbito de las carreteras. Tal vez a demasiada velocidad. El ser humano es analógico y no digital, y es lo digital lo que ha adquirido un protagonismo exacerbado, sin que el cerebro de los humanos haya podido adaptarse. Lo que crea vacíos intelectuales que permiten con frecuencia que personajes irrelevantes y peligrosos socialmente se vayan haciendo con el poder. El énfasis en la sociedad de la información, oculta la necesidad de conseguir una sociedad basada en el conocimiento. Pero volvamos a los caminos de los ingenieros. O, mejor, continuemos por ellos porque estos comentarios forman parte también de ellos.

Los vehículos con motores eléctricos, sustituyendo a los tradicionales motores de explosión, se están haciendo aceleradamente presentes y todos los fabricantes de vehículos están apostando por un cambio de consecuencias funcionales, tecnológicas y medio-ambientales relevantes.

La conducción guiada de los vehículos, que está empezando también a hacerse realidad, tiene un poder transformador excepcional que exigirá pensar los sistemas viarios nuevos de otra manera y adaptar los ya existentes.

El uso generalizado de drones hará cambiar nuestros hábitos ingenieriles, porque nos permitirá ver la tierra desde el cielo y hacerlo desde la lejanía o desde la proximidad. Los drones, además, captarán infinidad de información y el progreso tecnológico permitirá extraer la sustancia escondida en los océanos de datos digitales que nos aportarán estos robots voladores, obedientes y eficientes, que polinizarán supercomputadoras que digerirán la ingente cantidad que ellos nos aportarán. La época de los *big data* ya está aquí entre nosotros. Y nos permitirá optimizar el uso de las infraestructuras viarias existentes e identificar las mejoras necesarias para conseguirlo. El interior de los vehículos guiados se transformará en espacios propicios para el descanso, para el diálogo y desde los que se podrá disfrutar de algunos hermosos paisajes por los que discurren algunas carreteras.

Modernizar los sistemas viarios actuales debería ocupar a la ingeniería en los próximos tiempos. La “acupuntura viaria” con actuaciones puntuales sobre las redes existentes exigirán moderadas inversiones que tendrán una alta rentabilidad económica y social.

Pero en muchos sitios del mundo se continuará necesitando inversiones importantes para construir nuevas infraestructuras viarias de alta capacidad y seguridad que contribuirían al progreso de esos países. Pero serán sistemas viarios pensados desde la funcionalidad y concebidos para que puedan estar adaptados al progreso tecnológico que se está produciendo. El *software* en la ingeniería viaria tendrá un peso relevante y reducirá las necesidades de inversiones en *hardware*. Se invertirá menos en carreteras, pero se invertirá mejor. El pensamiento ocupará el lugar que le corresponde y precederá a la acción. Y la forma de pensar y de actuar se irá globalizando. Y el territorio en el que intervendrán los ingenieros no estará limitado por fronteras físicas o intelectuales.

Nuestro libro, que es el libro de Sebastián Guerrero, esboza alguna de estas cuestiones y abre caminos a reflexiones muy diversas. Sebas, ingeniero de la Universidad de Esteyco, es un personaje excepcional, con una biografía emocionante que no acaba de decidirse a ponerla por escrito para que sus nietos y biznietos, los biológicos y los profesionales que también los tendrá, puedan saber quién escribió esta carta de amor a las carreteras que es el texto que él nos ha regalado. Yo he aprendido mucho a su lado. Y viajar con él en coche, (que además tiene el encanto de que le gusta conducir, pues de copiloto se marea), es tener la posibilidad de recibir clases magistrales de carreteras. Sin perder la atención en la conducción, suele ir explicándolas. “Aquí se producirá un accidente, porque esta señalización no está bien resuelta. Allá se produjeron otros que podrían haber sido evitados”. Cuando se entra en un túnel explica por qué ocurrieron dramáticos accidentes notorios en el mundo. Él adora a los bomberos y siente lo que ellos pueden sentir cuando se enfrentan a un incendio en el interior de un túnel que podría haber sido evitado. Viajar con Sebas es una fiesta. Pocos conocen las carreteras como él las conoce; y pocos, si alguno, pone la pasión que él pone en compartir lo que pocos saben como él. Leer su texto confirmará al lector mis opiniones de amigo y compañero suyo.

Su libro se inicia con una breve pero intencionada introducción de Óscar Gutiérrez-Bolívar, un ingeniero que desde la discreción asociada al buen funcionario, coordina numerosos grupos de trabajo y está en contacto con las asociaciones internacionales que representan las carreteras en el mundo.

Jordi Morelló y Joan Moreno, como Michel Ortiz, son compañeros y discípulos de Andreu Estany, que no podría dejar de estar presente en un libro como éste. Jordi nos habla de la apreciación del paisaje desde la carretera y su integración, y Joan que ha reflexionado mucho sobre ello, sobre la importancia de las carreteras en configurar ciudades. Todos son Arquitectos, pero sin dejar ni mucho menos de serlo, pertenecen también a la cofradía de ingenieros sin titulación académica, pero ingenieros al fin. En otro caso no podrían haber escrito como lo han hecho ni seleccionar imágenes tan expresivas que ilustran sus intervenciones.

Andreu Ulied nos ha sorprendido con un hermoso texto inspirado en las sensatas laderas del Montseny (el monte con sentido común), en la que nos recuerda, él que es un gran experto en movilidad, que al concebir caminos y carreteras siempre debería estar presente “el dios de las pequeñas cosas”. Y que lo pequeño puede ser hermoso y que de lo hermoso se puede disfrutar mejor desplazándose a pie, o en bicicleta y no necesariamente en vehículos motorizados. Y subyace en su texto el mensaje, plenamente compartido por mí, que “la mejor carretera es aquella que no es necesaria”. Tener la posibilidad de desplazarse pero sin tener la necesidad de hacerlo, debería justificar toda política de ordenación del territorio.

Daniel Rodríguez ha titulado su texto “Formando ingenieros”. Sabe de lo que habla y expone sus preocupaciones, que deberían ser de todos, sobre una dolorosa realidad y lo hace con la discreción y elegancia que no oculta su justificada irritación sobre la formación que están recibiendo los alevines de ingenieros en nuestras desnortadas y prepotentes Escuelas de Ingenieros de Caminos.

Michel Ortiz, otro personaje de biografía fascinante, y arquitecto que trabaja también junto a Andreu Estany, nos sorprende para concluir el libro con un espléndido texto sobre los cambios que se están produciendo en la ingeniería de las carreteras y las tendencias que se irán consolidando. Las raíces cubanas de Michel, le han debido acostumar a soñar el futuro, el de las carreteras y el nuestro también. Porque todos somos el futuro que nos queda por vivir.

PRÓLOGO

ÓSCAR GUTIÉRREZ-BOLÍVAR

El siglo xx puede parecer que fue el siglo del avión, pero conviene recordar que el automóvil de motor de explosión nació prácticamente a la vez y justo al borde del cambio de siglo. Ciertamente que desde principios del xix ya existía la locomotora como transporte mecanizado terrestre, pero el automóvil supuso una revolución en el transporte y en la vida de millones de seres humanos que difícilmente pueda compararse con otro acontecimiento. Al principio los automóviles eran utilizados por los pocos que se lo podían permitir, pero Henry Ford introdujo una segunda revolución. Se trataba de una nueva filosofía de la organización empresarial que cambió de forma radical la producción industrial. Con su sistema de montaje en cadena y con unos salarios que duplicaban los habituales consiguió abaratar y, por tanto, popularizar el uso de los automóviles. No solo los trabajadores de Ford podían adquirir esos vehículos, sino que otros muchos pudieron acceder a la compra de automóviles.

Los caminos y carreteras ya existían, pero la aparición masiva en muy pocos años de tantos automóviles obligó a las administraciones públicas a crear y adaptar esas vías por las que antes solo circulaban personas o vehículos con tracción animal. Así la presión del automóvil impulsó el nacimiento de una nueva técnica que trastocó los métodos de construcción de caminos utilizados hasta entonces. El uso del alquitrán que luego sería sustituido por el betún supuso una ventaja enorme para evitar la formación de polvo, impermeabilizar y hacer más cómoda la rodadura.

Ni qué decir sobre el efecto que sobre el petróleo tuvieron los automóviles y las nuevas carreteras. Hasta ese momento solo se utilizaba para el alumbrado. A partir de la expansión de los automóviles y las nuevas carreteras el consumo de petróleo para combustible se disparó hasta ser hoy en día la «commodity» o materia prima más importante del mundo. Incluso uno de los subproductos como son los betunes también son protagonistas imprescindibles en los firmes de carreteras.

Los ingenieros idearon nuevos métodos de diseño para que el trazado se adaptara a las exigencias de mayor velocidad, comodidad y seguridad. Esa preocupación por la mejora de las carreteras ha ido impulsando la creatividad a lo largo de todo el siglo. La demanda de los ciudadanos por comunicarse por carreteras modernas ha supuesto una de las mayores inversiones que los estados han acometido. Probablemente el patrimonio viario sea uno de los más importantes de la mayoría de las naciones.

Esa preocupación ha ido dejando sitio también a la seguridad vial que ha sido materia de investigación y reflexión por numerosos técnicos. La conjunción de unos factores físicos de los que pueden conocerse en cierto grado su respuesta con lo impredecible del comportamiento humano, hacen de la seguridad vial una materia de enorme responsabilidad y de difícil tratamiento. Todas las carreteras deberían ser tolerantes, benignas, o misericordiosas y que en definitiva indultaran de una pena máxima o grave al conductor que comete un error. Claro que antes deben serlo los que toman las decisiones.

Las mejoras en señalización, en capacidad, en comodidad, en gestión de la conservación, en el diálogo con los ciudadanos y usuarios, en respeto al medio ambiente, en disminución de la congestión, son algunos de los logros que se han ido consiguiendo a lo largo del siglo.

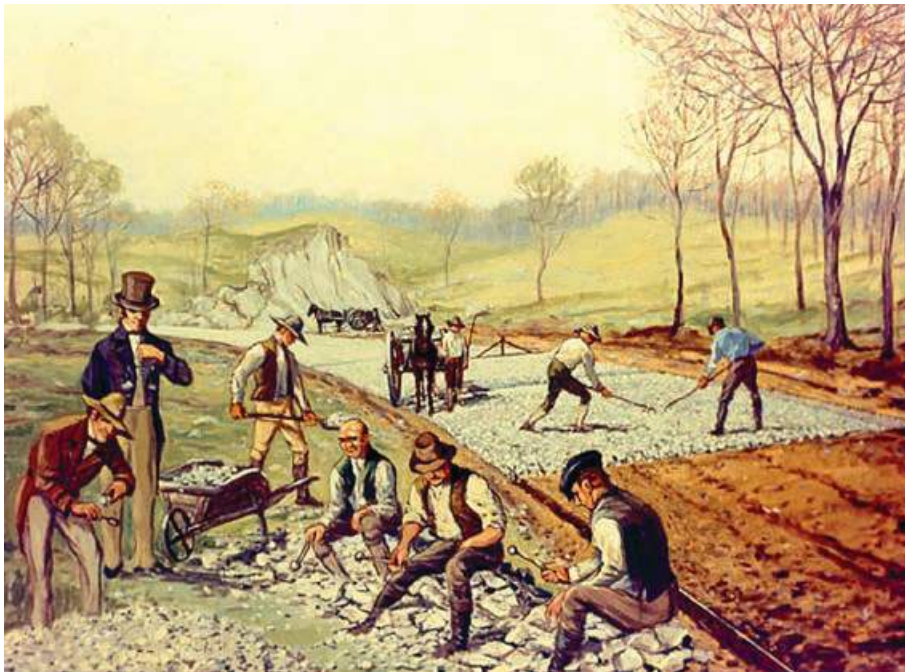
Pocos seres humanos viven de forma consciente sin relacionarse con las carreteras. El transporte marítimo, a pesar de su creciente importancia, ha quedado escondido para muchas personas. El ferroviario parece que vuelve a despuntar algo, y el aéreo no siempre es asequible para muchos. Pero la carretera está omnipresente en la vida de la casi totalidad de la humanidad. La vida económica de cualquier país desarrollado se disolvería en poco tiempo sin el concurso de las carreteras.

Pero ¿solo son eso las carreteras? En la vida cultural ya existe un género de películas de carretera y también en la literatura como en la *Autopista del Sur* de Cortázar. Muchos puentes ya son considerados como obras de arte emblemáticas, que incluso son un símbolo de ciudades o lugares. Las carreteras permiten contemplar y acceder a paisajes y parajes de belleza asombrosa que en ocasiones aparecen como repentinas ensoñaciones que sorprenden a los ocupantes. Pero también pueden ser ellas mismas el objeto de contemplación. Cuando se crearon las primeras autopistas alemanas se tuvo muy en cuenta la percepción que los ocupantes de los coches podrían tener de lo que se les iba presentando en el lienzo del parabrisas. Ángel del Campo y Francés en 1963 ya publicó unas recomendaciones sobre la estética de la carretera que se deberían haber considerado y seguir haciéndolo.

Si cualquiera hace un ejercicio proustiano de retrospección, verá cómo una parte del tiempo que permanece imborrable en la memoria transcurrió sobre la carretera. Cómo en los recuerdos infantiles de muchos, hay tantos viajes por carretera, algunos cortos, y, sobre todo, otros larguísimos, a veces de gozosa ida y triste regreso o con todas sus posibles combinaciones. Cómo las carreteras han acercado amores, han servido de despedida o de adiós definitivo. Cómo han sido testigos de alegrías, de tristezas infinitas, de esperanzas, de incertidumbres, de disgustos, enfados, de risas, de llantos... Cómo, en definitiva, han sido un escenario muy especial por el poder absorbente e hipnótico que sin duda tienen.

Las carreteras que han marcado nuestras vidas desde muchos puntos de vista en el siglo xx, lo hacen ahora y lo seguirán haciendo hasta que nos acompañen al final.

Estas líneas preceden a otras que de verdad son extraordinarias y que relatan aspectos tremendamente interesantes, reflejando una pasión por las carreteras que su autor, Sebastián Guerrero, no puede esconder.



LAS CARRETERAS DEL SIGLO XX,... EVOLUCIÓN E INNOVACIÓN

SEBASTIÁN GUERRERO RAMOS

La historia de la humanidad es la historia de los caminos y siempre éstos han cumplido análogas funciones en relación con el desarrollo y las tecnologías. Las civilizaciones y la barbarie se sirven de los caminos, sin los cuales no se concibe su expansión. Rastro del paso del hombre fueron los primeros caminos; rastro de la historia son al fin y al cabo todos los caminos

Ramón Menéndez Pidal, filólogo e historiador. 1869-1968

PREFACIO

La concepción, el diseño y la construcción de carreteras han ido evolucionando a lo largo de los últimos tiempos en consonancia con las circunstancias históricas y el progreso tecnológico experimentado en la materia. En el proyecto y durante todo este tiempo, han variado tanto los materiales como las técnicas utilizadas al proyectar y construir, ha cambiado la concepción de diferentes sistemas que asegurasen una mayor calidad; sin embargo, aquello que no ha cambiado desde el origen de la civilización hasta nuestros días es el decisivo papel que representan las carreteras como infraestructura viaria en el desarrollo económico de un país, en su cohesión e integración territorial, en el equilibrio regional y en la misma configuración de todo el territorio.

LAS CARRETERAS DEL SIGLO XX EN ESPAÑA

Al final del siglo XIX la red de carreteras en España ascendía a un total de 39.144 kilómetros. En 1914, el plan del Ministro de Fomento, Gasset, aumenta los kilómetros a construir por el Estado hasta alcanzar la red los 74.402 kilómetros. En los primeros años del siglo XX los problemas dominantes son el deterioro de los firmes por los pesados carros de transporte y el inicio de la circulación del automóvil por los caminos y carreteras españolas.

Las carreteras, construidas para la tracción animal, tenían firmes de macadam, radios de curvatura donde lo exigía el terreno, a veces de 8 o 10 metros, y pendientes de hasta un 10 o 12 por 100.

El Catálogo de Carreteras afectas al Plan, se reducía por esta vez a aquellas que había que construir, y estaba dividido en tres apartados: el primer apartado lo formaban las carreteras de construcción urgente que sumaban un total de unos 13.500 kilómetros, el segundo estaba formado por las carreteras de construcción necesaria (11.000 kilómetros en total) y el tercero los puentes y travesías de poblaciones.

(pág. izquierda)

Técnica de pavimentación de las carreteras ideado por John Loudon McAdam en Gran Bretaña, 1850. Sistema rápidamente extendido por gran parte de las carreteras en Europa y Estados Unidos.



La circulación del automóvil demandaba otras características técnicas para poder circular. En 1926, un nuevo plan, llamado Circuito de Firms Especiales, va a iniciar la transformación de la red principal de carreteras para acomodarlas a la circulación automóvil, corrigiendo curvas y pendientes y sustituyendo los firms de macadam por pavimentos asfálticos, en su mayor parte, por adoquinados, donde había gran intensidad de tráfico de carros, y por otros firms especiales. Con estas mejoras pudieron alcanzar velocidades de unos 60 km/h los automóviles, y de 30 ó 40 km/h los autobuses y camiones.

El gran salto cualitativo que el Circuito Nacional de Firms Especiales representó, vino acompañado y, en cierto modo motivó una actitud entusiasta por parte de la Administración en su intento de dotar al país de modernas vías de comunicación; por ello, y aunque las intensidades de tráfico no lo requerían en absoluto, alrededor del año 1927 se empezó a pensar en la construcción de autopistas.

Con el advenimiento de la Segunda República el 14 de abril de 1931 las Obras Públicas se independizaron de Fomento creando un Ministerio propio. Las carreteras pasaron a depender de la Dirección General de Caminos y esto supuso el fin del funcionamiento autónomo del Circuito Nacional de Firms Especiales.

La política de carreteras de la Segunda República, se centró fundamentalmente, en el mantenimiento, conservación y en ocasiones, mejora de la red que, en mitad de los años 30 sobrepasaba los 70.000 kilómetros.

En enero de 1938, antes de terminar la Guerra Civil, el General Franco, nombró Ministro de Obras Públicas de su gabinete al ingeniero Alfonso Peña Boeuf y a él se debe la elaboración, de un Plan Nacional que permitiera, al final de la guerra, reparar los destrozos que estaba padeciendo la red.

El Decreto aprobando el nuevo Plan General de Carreteras dentro del Plan General de Obras Públicas vio la luz el 11 de abril de 1939 y en él se preveían unas acciones a corto plazo: Plan Inmediato y otras posteriores: Plan Complementario.

El Plan estableció una nueva clasificación de carreteras que desde entonces se llamarían nacionales, comarcales y locales (mojones kilométricos rojos, verdes y amarillos, desde entonces) y cuyas anchuras deberían ser de 9, 7,5 y 6 metros, respectivamente. También se establecieron radios mínimos y pendientes máximas para las carreteras de nueva construcción.

Dicho Plan —que incluía además de los ensanchamientos de calzada y las mejoras de firme y trazado, la eliminación de pasos a nivel, la supresión de travesías, etc.—

(pág. izquierda)

Carretera de Vic (actual C-17) a su llegada al pueblo de Tona. Barcelona, 1925 (arriba)

El Camino Real (actual carretera N-II) y las vas del tren del Ferrocarril Barcelona-Mataró, primera línea construida en la Península Ibérica (inaugurado en 1848), a su paso por Premiá de Mar. Barcelona, 1940 (abajo)



no se llevó a efecto ni en una mínima parte por las estrecheces de la economía española derivadas del aislamiento impuesto a nuestro país al final de la Segunda Guerra Mundial, la falta de maquinaria, de betunes, de cemento, de mano de obra especializada, etc.

El 18 de diciembre de 1950 se aprueba un programa para el acondicionamiento y mejora de parte de la red, denominado Plan de Modernización. El plazo para la ejecución de las obras se fijó en cinco años.

Durante la Guerra Civil y los años cuarenta, el transporte por carretera se vio dificultado por las destrucciones ocurridas y por las dificultades de suministro de carburantes. El nuevo plan, viene a mejorar, de nuevo, la red principal que se había vuelto a quedar desfasada respecto a los vehículos automóviles producidos después de la segunda guerra mundial, más potentes y veloces. Su acción más eficaz se concentró en la supresión de pasos a nivel y en la supresión, también, de muchas travesías de poblaciones. En 1960, la red de carreteras del Estado ascendía

Presupuesto para realizar riegos asfálticos en la carretera Salamanca-Cáceres (actual N-660). Ruta de la Plata. El arreglo del firme se prorroga hasta el verano de 1936, en el inicio de la Guerra Civil.

(pág. izquierda)

Trabajos de refuerzo del firme de una carretera con “Macadam” (arriba, izquierda)

Prisioneros republicanos en situación de semi-esclavitud trabajando en la reparación de una carretera cercana a Bilbao. 1940 (arriba, derecha)

Trabajo de preparación del firme de una carretera con “Macadam”, por una cuadrilla de mujeres, después de la Guerra Civil (abajo)

JEFATURA DE OBRAS PÚBLICAS
SALAMANCA

REALIZACIÓN DE CONTRATAS

Clase FIRME ESPECIAL Proyecto: Aprobado en 11/4/1935. Referenciado en

Controlista Don ELLIPIO SANCHEZ MARGOS.

Presupuesto total ptas. 50.922.02. Cantidad del remate pta. 41.390.00. Liza pta. 9.582.02

Baja de subasta " 18.288.589. Plazo de ejecución cuatro meses

Fecha: subasta 24/8/1935 adjudicación 2/10/1935 comenzo 2/11/1935 debe terminarse 7/3/1936

ampliaciones de plazos en

Distribución del pago en anualidades pta. 5.663.56 en 1936 pta. 45.308.48 en 1936.

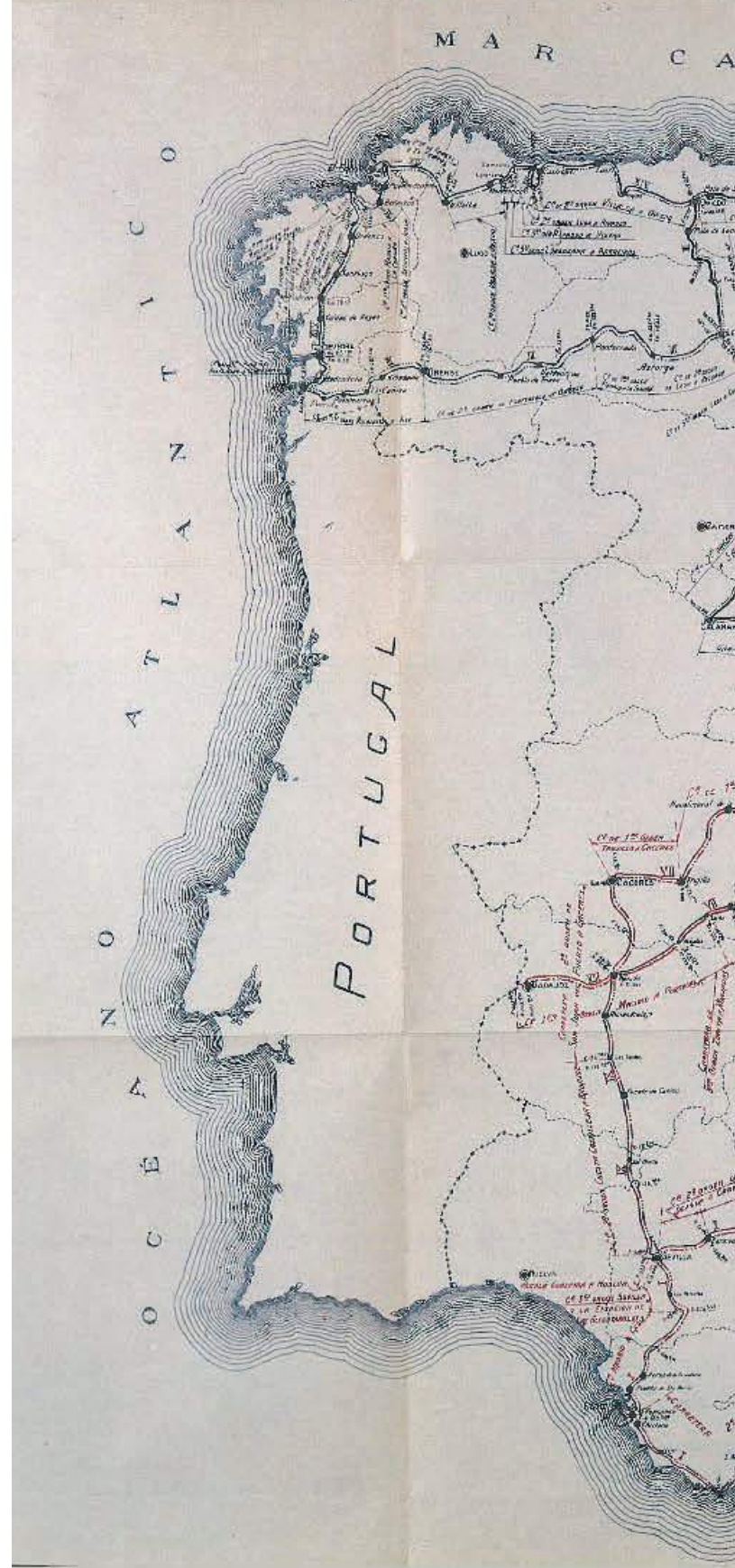
Certificaciones expedidas durante la ejecución

Fecha	IMPORTES DE LAS OBRAS			Pagos de subasta Pta. en	Incremento de Indemnizaciones Pta. en	Ingreso que se hizo Pta. en
	CERTIFICADO Derechos	ENTENDIMIENTO Pta. en	PERCEPCIÓN Pta. en			
11/1935	5.664.30		45.302.52	1084.81	169.95	4.429.56
12/1935	12.840.95	5.664.30	32.666.72	2475.93	585.23	10.047.30
Suma y sigue						

Km. 1. a 4. Segundo riego asfáltico.

Carretera de SALAMANCA CÁCERES. Km 70 y 71. y BESAR CAMBELARIO

Mapa del Plan de 1926, "Circuito Nacional de firmas especiales"



FRANCIA

Itinerários					Local de embarque
I	Europa	em Madrid	em trem	em trem (Barcelona-França)	Barcelona e Paris
II				de Paris (Paris)	Barcelona e Paris
III				Volante	Barcelona e Paris
IV				Caravana	Barcelona e Paris
V				Caravana	Barcelona e Paris
VI				Caravana	Barcelona e Paris
VII				Caravana	Barcelona e Paris
VIII				Caravana	Barcelona e Paris
IX				Caravana	Barcelona e Paris
X				Caravana	Barcelona e Paris
XI				Caravana	Barcelona e Paris
XII				Caravana	Barcelona e Paris
XIII				Caravana	Barcelona e Paris
XIV				Caravana	Barcelona e Paris
XV				Caravana	Barcelona e Paris
XVI				Caravana	Barcelona e Paris
XVII				Caravana	Barcelona e Paris
XVIII				Caravana	Barcelona e Paris
XIX				Caravana	Barcelona e Paris
XX				Caravana	Barcelona e Paris
XXI				Caravana	Barcelona e Paris
XXII				Caravana	Barcelona e Paris
XXIII				Caravana	Barcelona e Paris
XXIV				Caravana	Barcelona e Paris
XXV				Caravana	Barcelona e Paris
XXVI				Caravana	Barcelona e Paris
XXVII				Caravana	Barcelona e Paris
XXVIII				Caravana	Barcelona e Paris
XXIX				Caravana	Barcelona e Paris
XXX				Caravana	Barcelona e Paris
XXXI				Caravana	Barcelona e Paris
XXXII				Caravana	Barcelona e Paris
XXXIII				Caravana	Barcelona e Paris
XXXIV				Caravana	Barcelona e Paris
XXXV				Caravana	Barcelona e Paris
XXXVI				Caravana	Barcelona e Paris
XXXVII				Caravana	Barcelona e Paris
XXXVIII				Caravana	Barcelona e Paris
XXXIX				Caravana	Barcelona e Paris
XL				Caravana	Barcelona e Paris
XL I				Caravana	Barcelona e Paris
XL II				Caravana	Barcelona e Paris
XL III				Caravana	Barcelona e Paris
XL IV				Caravana	Barcelona e Paris
XL V				Caravana	Barcelona e Paris
XL VI				Caravana	Barcelona e Paris
XL VII				Caravana	Barcelona e Paris
XL VIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL IX				Caravana	Barcelona e Paris
XL X				Caravana	Barcelona e Paris
XL XI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XIV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XVI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XVII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XVIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XIX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XXI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XXII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XXIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XXIV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XXV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XXVI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XXVII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XXVIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XXIX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XXX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XXXI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XXXII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XXXIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XXXIV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XXXV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XXXVI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XXXVII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XXXVIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XXXIX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL I				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL II				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL III				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL IV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL V				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL VI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL VII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL VIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL IX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL X				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XIV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XVI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XVII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XVIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XIX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XXI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XXII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XXIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XXIV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XXV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XXVI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XXVII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XXVIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XXIX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XXX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XXXI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XXXII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XXXIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XXXIV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XXXV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XXXVI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XXXVII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XXXVIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XXXIX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL I				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL II				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL III				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL IV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL V				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL VI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL VII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL VIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL IX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL X				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XIV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XVI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XVII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XVIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XIX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XXI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XXII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XXIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XXIV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XXV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XXVI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XXVII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XXVIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XXIX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XXX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XXXI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XXXII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XXXIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XXXIV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XXXV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XXXVI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XXXVII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XXXVIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XXXIX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL I				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL II				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL III				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL IV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL V				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL VI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL VII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL VIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL IX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL X				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XIV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XVI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XVII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XVIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XIX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XXI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XXII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XXIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XXIV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XXV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XXVI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XXVII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XXVIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XXIX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XXX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XXXI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XXXII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XXXIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XXXIV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XXXV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XXXVI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XXXVII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XXXVIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XXXIX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL I				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL II				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL III				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL IV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL V				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL VI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL VII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL VIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL IX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL X				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XIV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XVI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XVII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XVIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XIX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XXI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XXII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XXIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XXIV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XXV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XXVI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XXVII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XXVIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XXIX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XXX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XXXI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XXXII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XXXIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XXXIV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XXXV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XXXVI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XXXVII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XXXVIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XXXIX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL I				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL II				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL III				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL IV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL V				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL VI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL VII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL VIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL IX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL X				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XIV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XVI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XVII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XVIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XIX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XXI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XXII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XXIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XXIV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XXV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XXVI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XXVII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XXVIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XXIX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XXX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XXXI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XXXII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XXXIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XXXIV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XXXV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XXXVI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XXXVII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XXXVIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XXXIX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XL				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XL I				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XL II				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XL III				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XL IV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XL V				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XL VI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XL VII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XL VIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XL IX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XL X				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XL XI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XL XII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XL XIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XL XIV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XL XV				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XL XVI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XL XVII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XL XVIII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XL XIX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XL XX				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XL XXI				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XL XXII				Caravana	Barcelona e Paris
XL XL XL XL XL XL XL XXIII				Caravana	Barcelona e Paris

CIRCUITO NACIONAL
DE
FIRMES ESPECIALES.

— Escala 1:1500.000 —

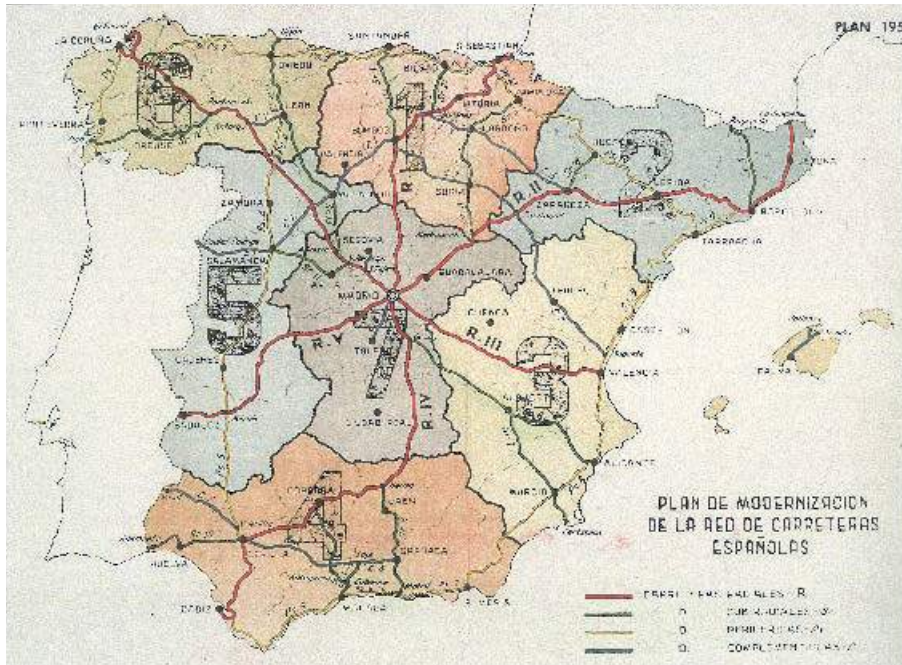
— DEMARCACIONES. —

Sección Noroeste

id	Sur
----	-----

и Este

LOS ITINERARIOS DE SEXUALITY CON NUMERACIÓN ROMANA



(pág. derecha)

Carretera de acceso a Asturias. Plan de Modernización, 1951 (arriba)

Auxilio en carretera de la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil en una carretera REDIA, 1963 (centro)

Interior del Túnel de Guadarrama, 1963 (abajo)

Mapa del Plan de Modernización de la Red de Carreteras Españolas, 1951 (arriba)

Mapa del Plan REDIA, 1962-1971 (abajo)



a 76.884 kilómetros, muchos de ellos con firmes de macadam aún. Ya los tráficos por carretera, medidos en viajeros-kilómetros y toneladas-kilómetro, superaban a los tráficos por ferrocarril.

Los resultados de este Plan fueron en general muy buenos; por las carreteras se podía circular a unas velocidades medias de 65 kilómetros/hora.

Posteriormente se confeccionó el denominado programa REDIA (Red de Itinerarios Asfálticos) para desarrollar en cinco años (1967/71) y cuyos objetivos primordiales eran los siguientes:

- Refuerzo de firmes mediante capas de aglomerado asfáltico de 12 centímetros de espesor medio
- Adecuación de las secciones transversales a la anchura de 7 metros junto con dos arcenes laterales de 2,5 metros cada uno, en total, 12 metros
- Actuación sobre itinerarios completos
- Realización de mejoras localizadas en puntos singulares
- Construcción de carriles adicionales para circulación lenta en tramos de fuerte pendiente
- Actuación sobre la señalización vertical y horizontal.

Igualmente, a mitad de la década de los 60, tras el Planeamiento del Sistema Nacional de Autopistas (1964) se redactó el PANE (Programa de Autopistas Nacionales Españolas). Por aquel entonces había en España unos 50 kilómetros de autopistas, todas ellas en régimen libre, si bien a lo largo de los últimos años de esta década se habían realizado concesiones para la construcción de unos 650 kilómetros de autopista en régimen de peaje (hasta 1972 no existió una normativa legal que fijara la relación entre Estado y sociedades concesionarias). El avance del Plan de Autopistas preveía una red de nada menos que 6.430 kilómetros.

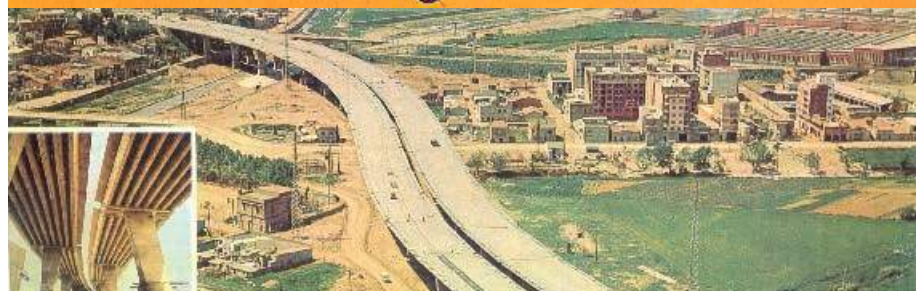
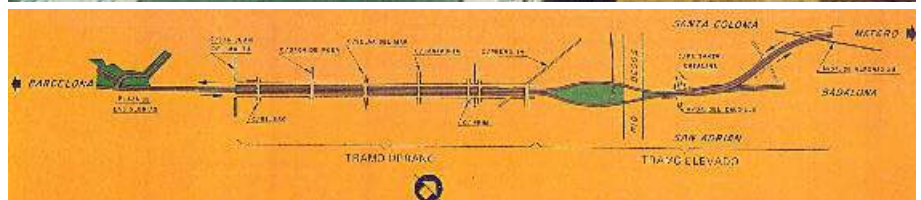
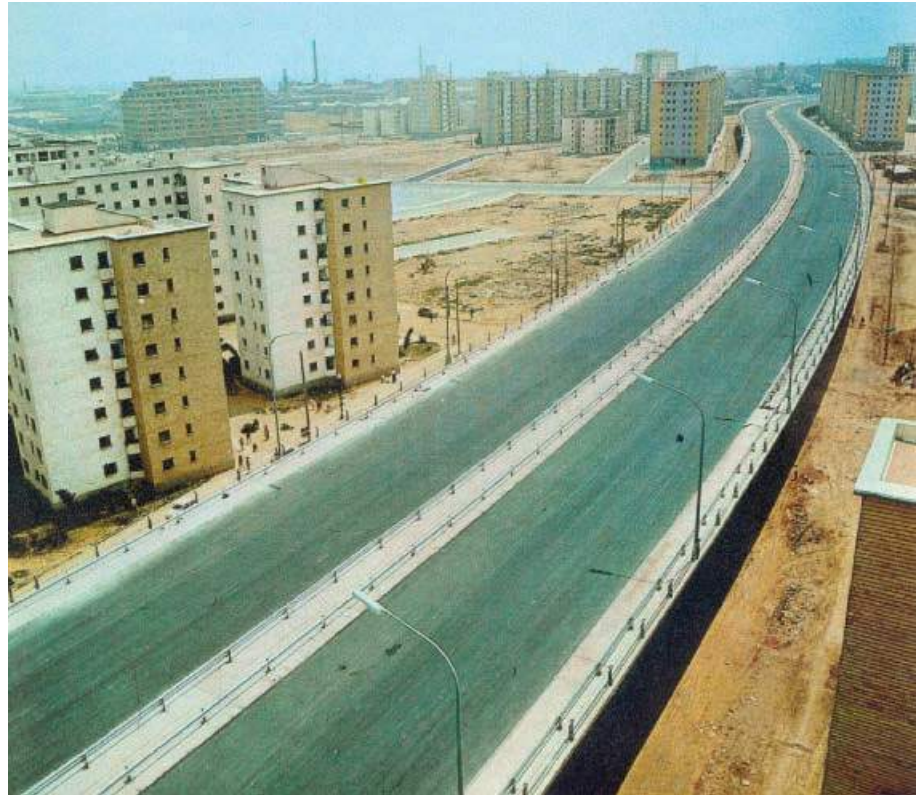
En 1963, el túnel de Guadarrama, en la carretera de Madrid a La Coruña, inicia las carreteras de peaje que alcanzan su mayor importancia con las autopistas de peaje, cuyas primeras concesiones fueron la Autopista del Mediterráneo (AP-7) entre Barcelona y Granollers y la Autopista de Mongat a Mataró (actual C-32), puestas en servicio en 1969.

En 1978, la red de carreteras del Estado estaba formada por 79.637 kilómetros de carreteras y 1.493 kilómetros de autopistas de peaje.



Obras de construcción del Túnel de Guadarrama (Madrid), primera carretera de peaje en España, 1963 (arriba)

Autopista Madrid-Vallecas, primera autopista libre de peaje en España (actual A-3), construida entre 1964 y 1967 (abajo)



Portada de *La Vanguardia* con la noticia de la Primera Autopista de peaje en España, Montgat-Mataró (Barcelona). Inaugurada el 2 de julio de 1969 (arriba izquierda)

Autopista libre de peaje, de Plaza de las Glorias a Montgat (Barcelona), inaugurada en 1969 (arriba derecha)

Autopista de peaje (AP-7) tramo Barcelona-Granollers, inaugurada el 2 de julio de 1969 (abajo)



Una vez finalizadas las transferencias de parte de las carreteras del Estado a las comunidades autónomas, en 1984, la red de interés general del Estado quedaba de esta forma: autopistas de peaje, 1.784 kilómetros; autopistas libres, 320 kilómetros; autovías, 224 kilómetros; otras carreteras, 17.981 kilómetros, en total, 20.309 kilómetros.

En ese año, un nuevo y ambicioso Plan General de Carreteras (1984-1993), programa la transformación de 3.538 kilómetros de la red en autovías, utilizando, inicialmente, la carretera existente para un sentido de la circulación, construyendo otro para el otro sentido, controlando los accesos a la autovía y construyendo intersecciones a distinto nivel en los cruces con otras vías de circulación, las denominadas Autovías de Primera Generación. A partir de 1986 el trazado se hizo nuevo para las dos calzadas.

El Plan actuó sobre 7.222 kilómetros acondicionando la red de carreteras a una sección de dos carriles de 3,5 metros y arcenes de 1,5 metros, con una velocidad de proyecto superior a 80 kilómetros/hora, al tiempo que se eliminaban 303 travesías conflictivas (Programa ARCE). En el resto de la red interurbana (8.407 kilómetros) se procedió a la reposición y conservación del firme (Programa RECO) al tiempo que se hizo un programa específico para actuar en las grandes ciudades (Programas de MEDIO URBANO).

A principios de 1993 se presentó el Plan Director de Infraestructuras, como continuación del plan anterior y que duró hasta 1996. Entre 1997 y 2007 las actuaciones se enmarcaron en el programa de Autopistas de Peaje y en el Plan de Infraestructuras de Transporte. El Plan de Autopistas contemplaba 440 kilómetros en nuevos tramos de peaje, entre los que destacaban los 169 kilómetros de los accesos radiales a Madrid. Posteriormente, se aprueba el Plan Estratégico de Infraestructuras y Transportes (PEIT), que proyecta actuaciones en Infraestructuras y Transportes desde el año 2005 al 2020. A continuación, y tras un cambio de gobierno por medio, se aprueba un nuevo Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda PITVI (2012-2024), actualmente vigente.

En la actualidad la red de carreteras de España tiene, según datos del Ministerio de Fomento, 166.284 kilómetros, de los cuales 26.124 están gestionados por la Administración Central y recogen el 51,2% del tráfico. De toda esa red, 15.048 kilómetros corresponden a vías de gran capacidad (autopistas de peaje, libres y autovías). De este modo, España es en la actualidad el país de Europa con mayor longitud de este tipo de vías. Por detrás se sitúan Alemania, con 12.917 kilómetros, y Francia, con 11.465 kilómetros.

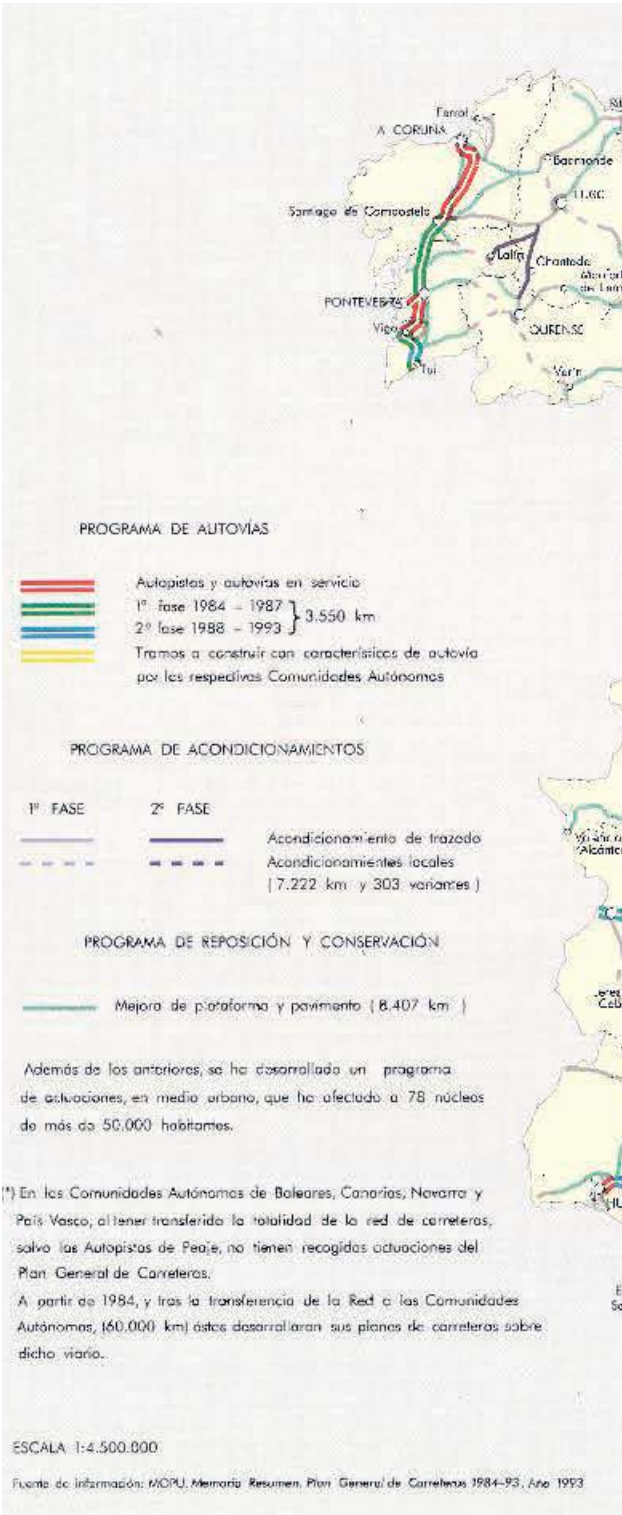
(pág. izquierda)

Autopista de Barcelona a Mataró, primera autopista de peaje en España en 1969, en la actualidad

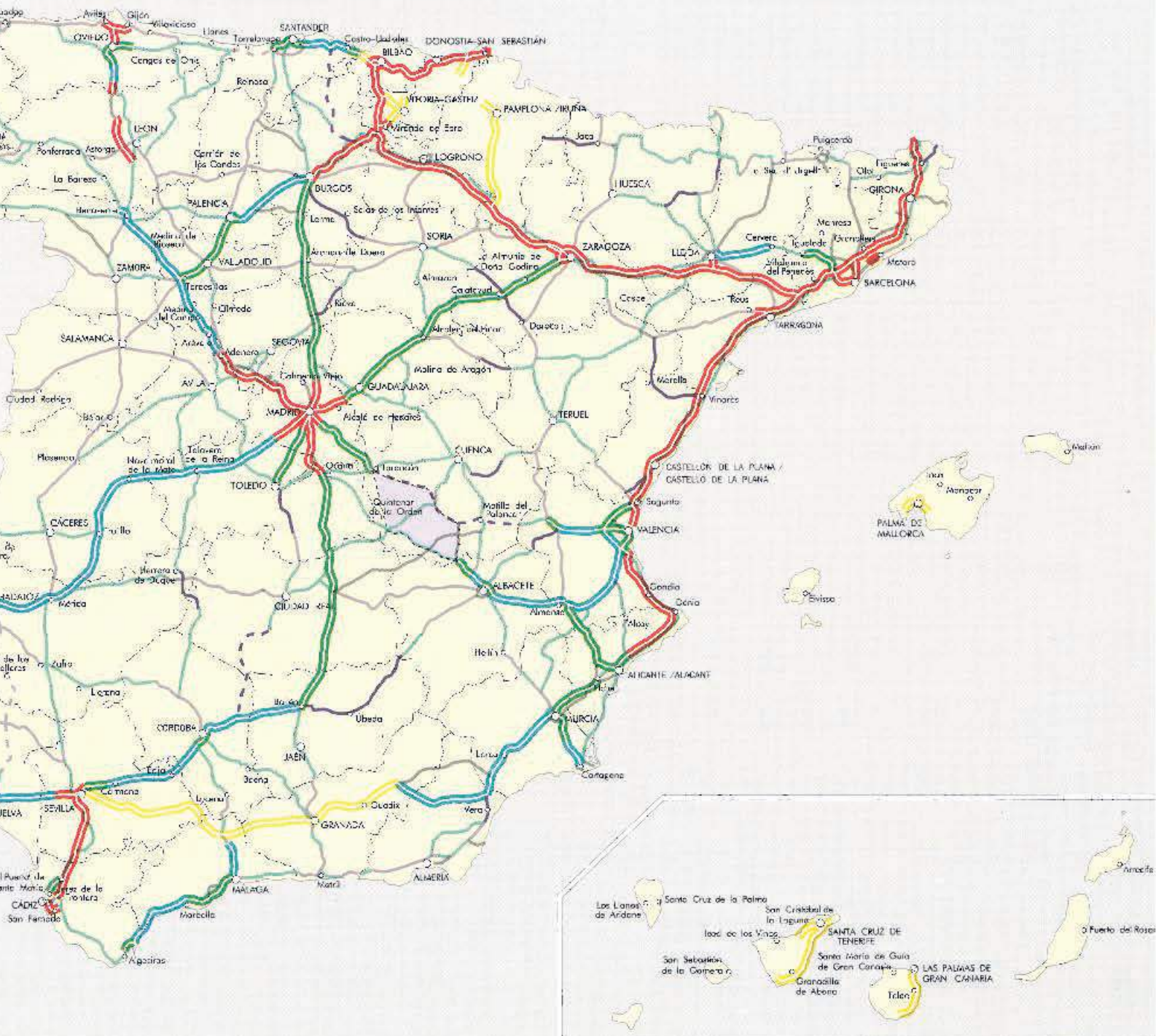
Autovía de 1ª generación A-2, Madrid- Zaragoza, recientemente renovada

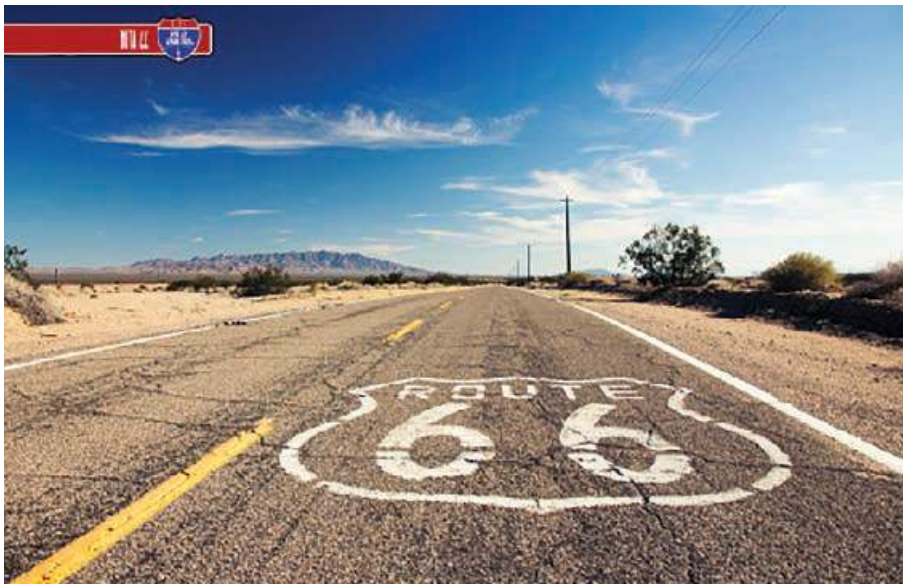
PLAN GENERAL DE CARRETERAS (1984-1993)

Programa	Objetivos a conseguir	Características	Actuaciones
Autovías	Acortar desequilibrios regionales	Doble Calzada	3.550 km
	Completar una red estatal de alta capacidad	Velocidad de proyecto ≥ 100 km/h	
	Disminuir tiempos en largos recorridos	Anchura (por calzada) ≥ 7 m	
	Eliminar el paso por núcleos urbanos	Arcenes 2,5 m (derecho) 1,5 m (izquierdo)	
Acondicionamiento (ARCE)	Mejorar las condiciones geométricas de itinerarios de largo recorrido (no incluidos en autovías)	Velocidad de proyecto ≥ 80 km/h	7.222
	Conseguir un nivel de servicio mínimo	Anchura ≥ 7 m	
	Eliminar travesías conflictivas en poblaciones de menos de 50.000 habitantes construyendo variantes	Arcenes 2 x 1,50 m	
Reposición y Conservación (RECO)	Asegurar la capacidad estructural y acabado geométrico del resto de la red (no incluida en los programas anteriores)	Velocidad de proyecto ≥ 60 km/h	8.407 km
	Mejorar la seguridad vial y la señalización eliminando intersecciones y tramos peligrosos	Anchura ≥ 7 m	
		Arcenes 2 x 1 m	
Actuaciones en Medio Urbano	Garantizar la continuidad de las carreteras estatales a su paso por poblaciones de más de 50.000 habitantes		78 poblaciones de más de 50.000 habitantes
	Mejorar los accesos a las mismas Mejorar los accesos a los puertos y aeropuertos		Accesos a puertos y aeropuertos



Mapa del Plan General de Carreteras 1984 - 1993

PLAN 1984-1993 (*)



Bronx River Parkway, la primera *parkway* americana, 1916-1922 (arriba)

La legendaria Ruta 66, Estados Unidos (abajo)

LAS PRIMERAS CARRETERAS EN ESTADOS UNIDOS

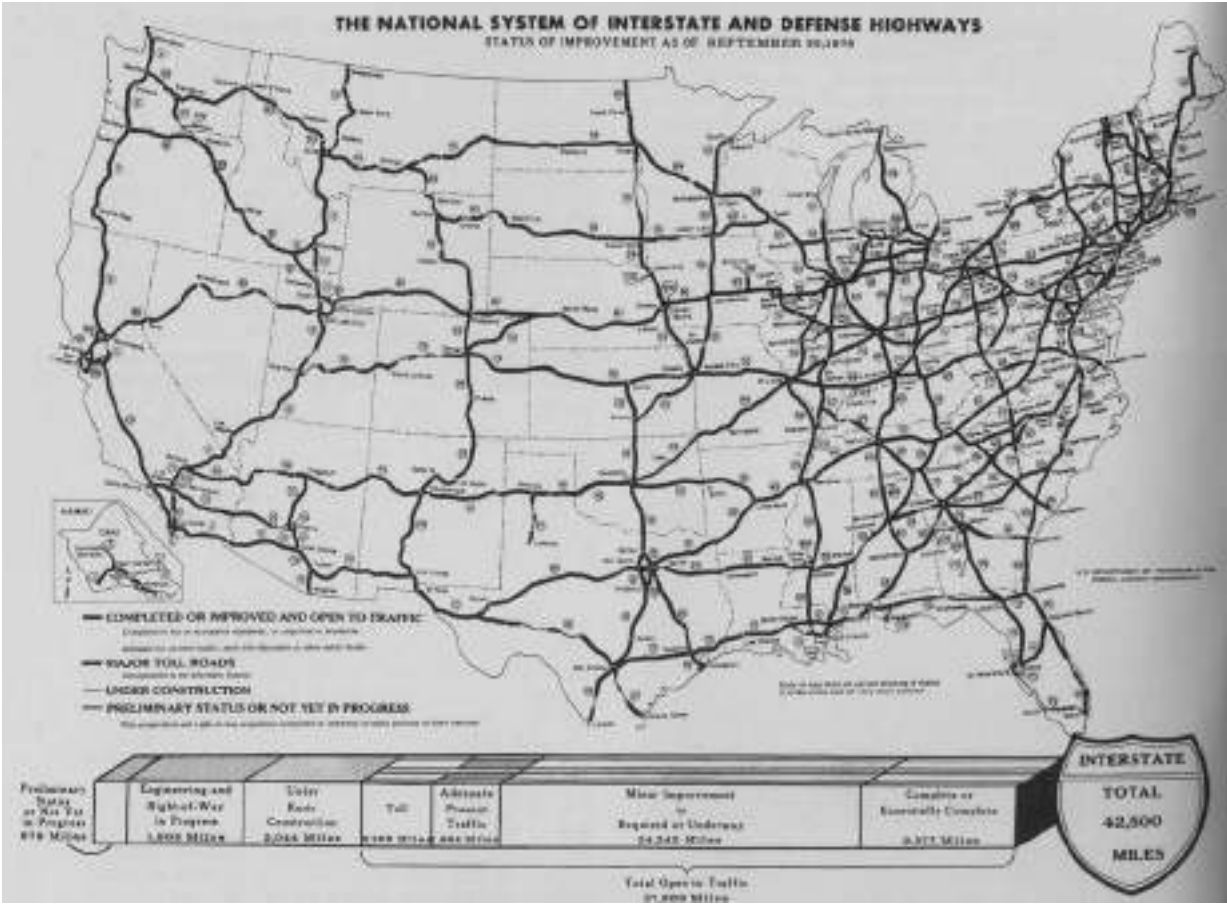
En los años 20 del siglo pasado, se empezaron a construir las *Parkways* americanas (vías parque) y las grandes rutas federales, para proporcionar una manera más fácil de viajar a través del país, aprovechando el auge del automóvil y también como un medio para el transporte militar rápido en tiempo de emergencia. Se descubrió así que estas nuevas carreteras podrían estimular el desarrollo de las zonas a las que abastecían, aunque por otro lado provocaban efectos desastrosos sobre el medio ambiente. Los ingenieros estadounidenses se dieron cuenta de que, en el proyecto de carreteras, la obtención de una alta velocidad de circulación no debía ser el único factor a tener en cuenta; el trazado debía estar diseñado de tal forma que evitara una sensación de monotonía al conductor del vehículo, contribuyendo así a aumentar su seguridad.

El gran crecimiento del tráfico rodado en largas distancias condujo en 1944 a una propuesta para la creación de un Sistema Nacional de Autopistas Interestatales y de Defensa (*National System of Interstate and Defense Highways*). Entre ellas la legendaria Ruta 66, también conocida como “The Main Street of America” (la Calle Mayor de Estados Unidos). Promovida en 1923, no estuvo completamente pavimentada hasta 1938.

Originalmente discurría desde Chicago (Illinois), a través de Missouri, Kansas, Oklahoma, Texas, Nuevo México, Arizona y California, hasta finalizar en Los Ángeles, con un recorrido total de 2.448 millas (3.939 kilómetros). La Ruta 66 fue el principal itinerario de los emigrantes que iban al oeste, especialmente durante los años 40, y sostuvo la economía de las zonas que la carretera atravesaba. Durante la II Guerra Mundial hubo más emigración hacia el oeste debido a las industrias bélicas en California. La Ruta 66, ya popular y totalmente pavimentada, se convirtió en uno de los principales itinerarios y también sirvió para transportar el material militar.

Con la firma de la *Federal-Aid Highway Act of 1956* (Ley de Autopistas Interestatales) por el presidente Eisenhower, se estableció un fondo para la construcción de carreteras federales cuando ya existían 8.200 kilómetros de autopista de las cuales, 2.600 eran de peaje. Como General destinado en Europa durante la II Guerra Mundial, observó con admiración la red de autopistas alemanas “Autobahnen”. Eisenhower imaginó un sistema de carreteras similares en los Estados Unidos en el que fuera posible viajar a gran velocidad de un extremo a otro del país, así como también movilizar tropas en caso de una emergencia nacional.

La Interestatal 95 es de las más conocidas dentro de la red de autopistas interestatales, y de las más transitadas de la Red de carreteras de Estados Unidos. Con una longitud de 1.927 millas (3.101 kilómetros), es la autopista norte-sur más larga de la costa este. Recorre la costa este de los Estados Unidos, entre su extremo septen-





Intercambiador de autopistas en Wyoming
(Michigan), 1970

(pág. izquierda)

Red Interestatal de Estados Unidos. 1976

La Interestatal 95 a su paso por Miami (Florida)

trional en la frontera canadiense en Houlton (Maine), donde se convierte en la Ruta de Nuevo Brunswick 95, y su extremo meridional en la ciudad de Miami, Florida en un empalme con la Ruta 1, conectando las Provincias Marítimas de Canadá con Boston, la Ciudad de Nueva York y Florida. Como la mayoría de las Carreteras Interestatales, la I-95 proporciona una alternativa de alta capacidad en los EEUU.

La red de carreteras de los Estados Unidos supera los 6,58 millones de kilómetros de longitud total, siendo por tanto la red más larga y más grande del mundo. Concretamente, se compone de 4,3 millones de kilómetros de carreteras pavimentadas, incluyendo 76.334 kilómetros de autopista y 2,28 millones de kilómetros de carreteras sin pavimentar, e incluye muchas de las carreteras más largas del planeta.



Autobahn nacionalsocialista, década de 1930 (arriba)

Autostrada del Sole, tramo Milán-Nápoles, en obras en 1959 (abajo)

EL DESARROLLO DE LAS CARRETERAS EN EUROPA

Las bases para el desarrollo de la red principal de carreteras en Europa se pusieron durante el transcurso de los años veinte. En la mejora y nueva construcción de dicha red antes de la I Guerra Mundial, se venía utilizando el sistema de firmes de McAdam, llamado macadamización, que se adoptó en casi todos los países. Sin embargo, los cimientos de tierra de las carreteras macadamizadas no pudieron soportar los pesados camiones que se utilizaron en la I Guerra Mundial. Su principal consecuencia fue la adopción del sistema de Telford para la construcción de carreteras sometidas a tráfico pesado, ya que proporcionaba una mejor distribución de las cargas de tráfico sobre el subsuelo subyacente.

Dicho sistema implicaba la construcción de cimientos de material resistente, roca a ser posible; estos se recrecían en el centro para que la carretera se inclinara hacia los bordes permitiendo su desagüe. La parte superior de la carretera se componía de una capa de unos 15 centímetros de piedra machacada y compactada. De esta forma se conseguía un mejor reparto de las tensiones transmitidas por los vehículos circulantes a lo largo de la estructura.

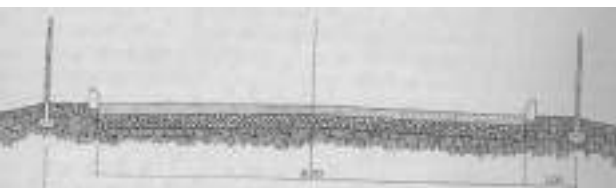
Sin duda, el gran impulso a las grandes redes de carreteras vinieron paradójicamente de la mano de las dictaduras italiana y alemana, debido principalmente a motivos de índole militar. Las autopistas o *autostradas* nacieron en Italia fomentadas por Mussolini, se construyó la autopista de Milán a los Lagos, íntegramente financiada por fondos privados y abierta al tráfico en 1924. Aunque desde el punto de vista actual las autopistas prebélicas sean cualitativamente pobres, ya incorporaban aspectos esenciales como el acceso limitado y la ausencia de cruces a nivel.

La idea, recogida con fines militares por la Alemania de Hitler para facilitar el transporte de tropas de frontera a frontera, se materializó en la magnífica red de autopistas del Tercer Reich que en 1938 alcanzaba ya una extensión de más de 2.000 kilómetros. Adolf Hitler era conocedor del gran valor militar y estratégico que proporcionaba en una red de carreteras adecuada.

Gran Bretaña comenzó a construir caminos especiales (*motorways*) en 1956. El primero de ellos, que unía las ciudades de Londres y Birmingham, fue abierto al tráfico en 1959. Este trabajo tuvo continuidad en la creación de una red de autopistas, así como también en la redacción de proyectos para mejorar las carreteras existentes y los enlaces con núcleos urbanos.

Entre las autopistas europeas más notables figura la *Autostrada del Sole* (Italia), que une Milán con Nápoles. Esta autopista de 755 kilómetros y cuyo último tramo fue inaugurado en 1964, constituyó un gran esfuerzo técnico por las importantes obras de ingeniería en viaductos y túneles que exigió su construcción.

Sección transversal de la *Autostrada* Milán-Los Lagos, 1923-1924





LA CREACIÓN DE LAS EMPRESAS DE INGENIERÍA EN ESPAÑA

La ingeniería o consultoría técnica es uno de los sectores cuya evolución reciente mejor refleja el cambio económico acaecido en la España contemporánea. Se trata de una actividad que tiene como función principal aplicar el conocimiento existente a las necesidades técnicas del cliente, las cuales pueden variar desde procesos concretos desde un proyecto de una autopista hasta plantas industriales entregadas listas para ponerse en marcha. El tipo de servicios ofertados por las empresas de un país refleja, por tanto, el conjunto tecnológico acumulado.

En la Red de Autopistas que se proyectaron y construyeron en España en la década de los 60 y 70, participaron principalmente equipos de técnicos españoles que habían viajado a Estados Unidos, en las denominadas “misiones de productividad”, para conocer la tecnología que se estaba empleando en las ingenierías y constructoras.

ANTECEDENTES Y EVOLUCIÓN DE LAS EMPRESAS DE INGENIERÍA ESPAÑOLAS

Los orígenes de los servicios de ingeniería en España han de remontarse, como en el resto de Europa, a las grandes obras civiles de la segunda mitad del siglo XIX y de principios del XX, como la construcción del ferrocarril y de las infraestructuras hidroeléctricas. Por esas mismas fechas, ya se habían asentado en España las ingenierías superiores. En 1906 el propio Leonardo Torres Quevedo fundó la empresa Estudios y Obras de ingeniería con el fin de poner en práctica sus inventos. En el caso del ferrocarril, es sobradamente conocido el protagonismo de los técnicos y el saber hacer franceses, pero ingenieros, arquitectos y constructores españoles también estuvieron presentes, particularmente en los inicios de su construcción. Mayor fue el protagonismo de la ingeniería española en la construcción de las grandes obras hidroeléctricas.

La consultoría en ingeniería no era una actividad desconocida en la España de la primera mitad del siglo XX, pero se trataba de un servicio muy ligado a la construcción, a la iniciativa foránea y a las necesidades de los grupos industriales en cuyo seno estas empresas eran creadas. Los servicios de ingeniería en España distaban mucho de la capacidad estadounidense y europea de consultoría, donde el sector ya estaba preferentemente constituido por empresas independientes de sus clientes y menos apegadas a la ingeniería civil.

(pág. izquierda)

La autopista de peaje AP-2 en la actualidad (construida entre 1969 y 1977), en el punto de paso del Meridiano de Greenwich, cerca de Zaragoza

En definitiva, el nacimiento de la consultoría en ingeniería en España se inicia a mediados del siglo XX, coincidiendo con la construcción de las bases militares estadounidenses y con la expansión de las consultoras norteamericanas

LAS PRINCIPALES EMPRESAS PROTAGONISTAS

Una vez resumida la evolución general de la consultoría en ingeniería en la España del siglo XX, se identifican algunas de las principales empresas protagonistas en la formación del sector. Los grupos industriales del Instituto Nacional de Industria (INI) y del Banco Urquijo contaron desde fechas tempranas con sus propias ingenierías; consultoras que, además prestaban sus servicios a empresas ajenas al grupo. Algunas de las grandes constructoras y eléctricas de la época también crearon sus propias consultoras en ingeniería, como muestran los ejemplos de la Huarte (EYSER), Dragados (INTECSA), Ferrovial (Euroestudios), Constructora Colomina (TYPESA), Hidroeléctrica Española (GHESA) y Fuerzas Eléctricas de Cataluña, que creó INYPSA.

PRINCIPALES EMPRESAS DE INGENIERÍA ESPAÑOLAS EN 1975

Empresa	Año de fundación	Principales accionistas	Campo de actividad o tipo de ingeniería
Empresas de capital español			
SENER	1956	Familia Sendagorta	Energía nuclear, naval, aeroespacial, química e industrial, civil
IDOM	1957	Accionistas individuales	Industria, energía, medioambiental, telecomunicaciones, civil
Técnicas Reunidas	1959	B. Urquijo (may.) Bilbao (25%)	Química, petroquímica y energía
EYSER	1969	Grupo Huarte	Civil
INECO	1968	RENFE (65%)	Civil
INTECSA	1965	Dragados y Construcciones (100%)	Civil, química, energía y plantas industriales
INYPSA	1970 (1962)	Fuerzas Eléctricas de Cataluña, S.A. (FECSA)	Energía y civil
TYPESA	1966	Constructora Colomina	Civil
AYESA	1966	Accionistas individuales	Civil, industrial, aeronáutica y defensa
ESTEYCO	1970	Accionistas individuales de la empresa	Civil
Empresas con capital extranjero minoritario			
Euroestudios	1968	Ferrovial, John Laing	Civil
GHESA	1963	Gibbs & Hill, Hidroeléctrica Española, Banesto	Energía, plantas industriales y civil
Harris-Bosch Aymerich	1954	J.M.Bosch Aymerich Frederic Harris	Civil e industrial
ESBOGA	1962	Esboga (Suecia, may.)	Civil e industrial

LAS MISIONES DE PRODUCTIVIDAD A ESTADOS UNIDOS

Tras la Segunda Guerra Mundial, Estados Unidos se implicó directamente en la reconstrucción europea a través de diferentes programas de ayuda económica, técnica y militar, a raíz del Pacto de Madrid (1953) en el capítulo de la ayuda técnica. Tanto en España como en Europa, el protagonismo fue para las “misiones de productividad”, el envío de especialistas españoles a Estados Unidos para conocer “in situ” el funcionamiento de sectores específicos y, en general, las características organizativas y directivas de la gran empresa americana.

En estos equipos formaron parte tanto representantes de organismos públicos como de la empresa privada, aunque la representación fue mayor la de estos últimos. Los informes que estos equipos debían redactar a su vuelta explicando lo observado permitieron conocer el estado del sector en España, así como el modo de operar de las ingenierías y de los contratistas norteamericanos.

Y es que el modo de operar de las empresas americanas distaba mucho a cómo se hacían las cosas en España. Según las observaciones de los equipos que viajaron a los Estados Unidos, principalmente un aspecto llamó poderosamente la atención de los participantes:

La importancia brindada a la planificación previa del proyecto, labor a la que se dedicaba alrededor del 60% del tiempo dedicado a la obra, en claro contraste con la improvisación que dominaba entre las empresas españolas. Resulta muy ilustrativa de las diferencias que existían entre ambos países la siguiente afirmación de uno de los integrantes del equipo de Proyectos: “El americano opina que al invertir ‘tiempo’ en el estudio de un proyecto no *‘se tarda más’*, sino que *‘se pierde menos’*”.



Una instantánea de la visita del presidente de los Estados Unidos, Eisenhower, a España en 1959. La visita del Presidente Americano propició el principio del fin del “aislamiento” a nivel internacional al que estaba sometido el régimen totalitario.

LA CONSTRUCCIÓN DE LAS BASES MILITARES ESTADOUNIDENSES Y SU RELACIÓN CON LAS INGENIERÍAS ESPAÑOLAS

La ayuda brindada por Estados Unidos en virtud de los acuerdos de 1953 tuvo como contrapartida la construcción de bases militares norteamericanas en territorio español. Las empresas, finalmente involucradas en la construcción de las bases norteamericanas supuso, una excelente oportunidad para familiarizarse con la tecnología (principalmente de la obra civil) y el saber hacer estadounidense.

La construcción de las bases militares y de todas las infraestructuras viarias a ellas asociadas constituía una obra de gran envergadura técnica.

Frederic Harris, uno de los estudios de arquitectos encargados del diseño de las bases militares, creo en 1954 junto con José María Bosch Aymerich, la empresa de ingeniería y arquitectura Harris Bosch Aymerich, que posteriormente fue el germen de otras muchas ingenierías y de relevantes proyectistas de carreteras. Tres años antes, varios ingenieros de la empresa (HBA) había viajado a Estados Unidos, en el marco de la ayuda técnica, a ampliar sus conocimientos sobre la forma de proyectar y construir en el país americano. Una de las principales actividades de HBA fueron los proyectos de infraestructuras viarias (autopistas principalmente) que se desarrollaron en nuestro país en la década de los 60 y 70.

Anuncio en prensa del inicio de las obras de la autopista Bilbao-Behobia, 1969. Harris Bosch Aymerich proyectó diversos tramos (derecha)

36. Autopista Bilbao-Behobia, tramo Oyarzun-Behobia (abajo)



COMIENZAN LAS OBRAS DE LA AUTOPISTA BILBAO-BEHOVIA

Ya está redactado el proyecto de trazado de Amorebieta a Elgóibar, cuya aprobación oficial se espera para fecha próxima



Al bajar, de forma significativa, la actividad en proyectos de carreteras de la ingeniería pionera Harris Bosch Aymerich, en la segunda mitad de los 70, varios ingenieros relevantes, optaron por crear nuevas ingenierías y otros por integrarse en otras ingenierías del sector con más expectativas en ese campo de las infraestructuras viarias.

Entre otras ingenierías de prestigio de nuestro país, varios de estos profesionales, ingresaron en la ingeniería Esteyco (fundada en 1970), dándole un relevante impulso a su Departamento de Carreteras y dotándolo de una mayor capacidad de desarrollar estudios y proyectos de infraestructuras viarias que en aquel momento, final de los 70 y la década de los 80) el Ministerio de Fomento le estaba dando un importante impulso.

En dichos años (70-80) y posteriormente, con la participación activa de Esteyco en la gestación de las infraestructuras viarias de la “Barcelona Olímpica”, se elaboraron una ingente cantidad de estudios, proyectos, asistencias técnicas y direcciones de obra.



(pág. derecha)

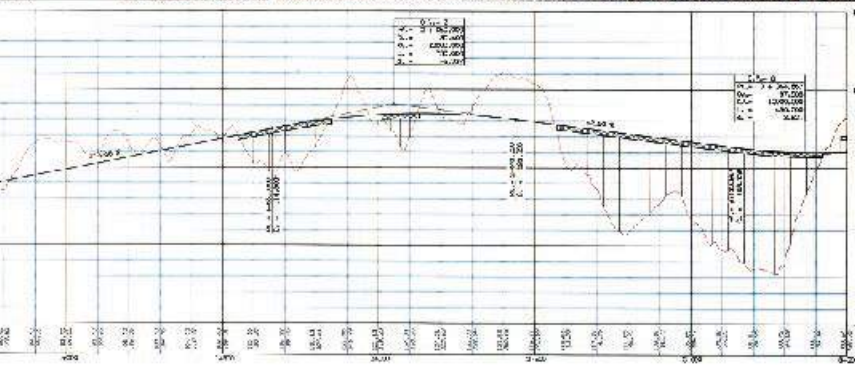
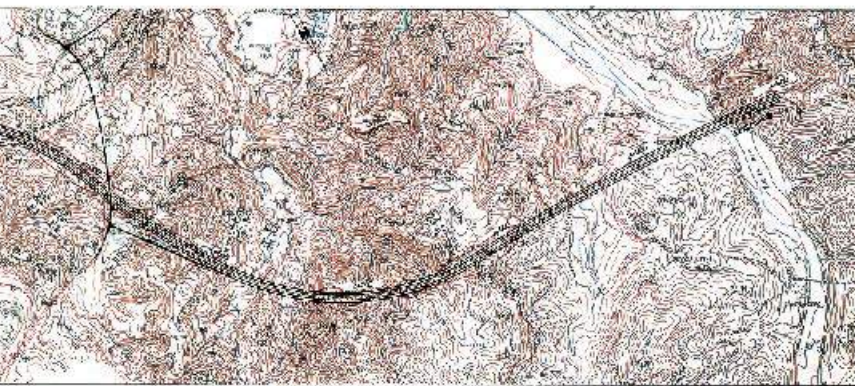
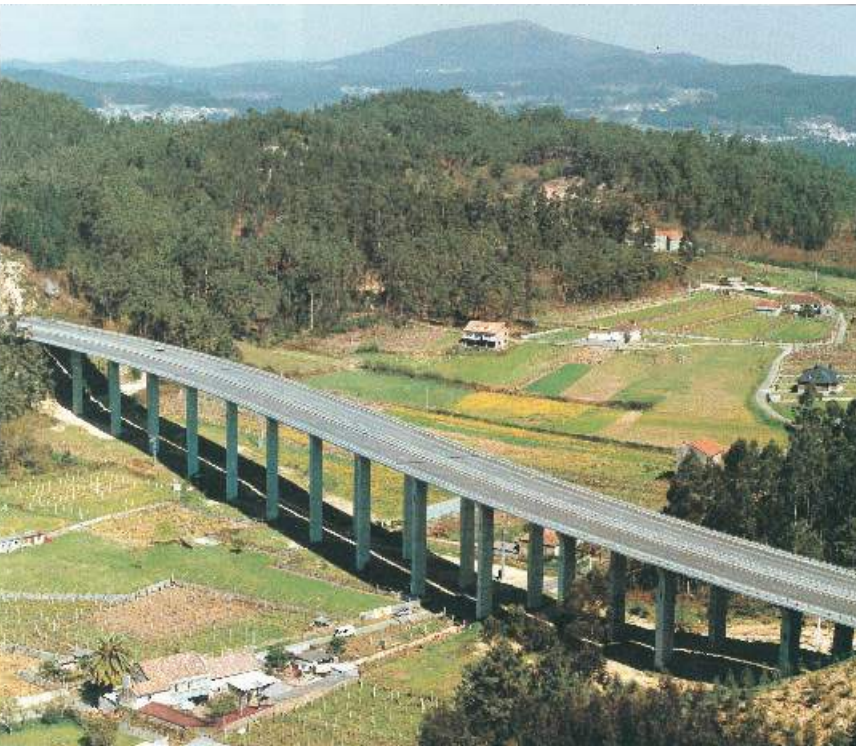
Autopista del Atlántico, tramo Caldas-Pontevedra, 1987

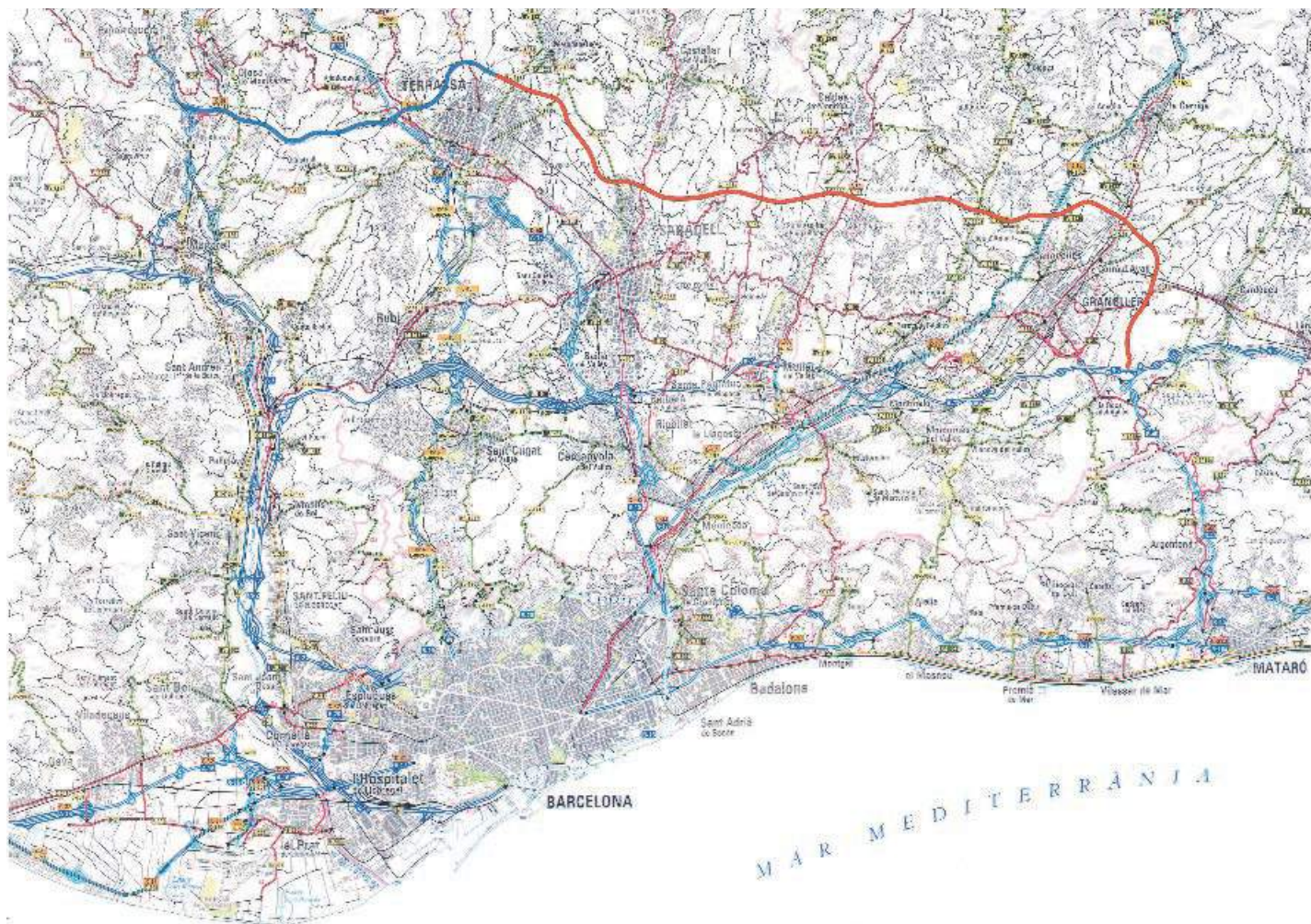
Ronda Litoral, tramos del frente marítimo de Poble Nou y Besòs (Barcelona), 1989-1991

Anteproyecto de la Autopista de la Costa del Sol, tramo: Málaga-Estepona, 1990

Nudo de la Trinidad (Barcelona), 1991- 1992 y ampliación en 1998- 2000

Proyecto de desdoblamiento de la calzada existente en el tramo: Venta de Cárdenas- Santa Elena, Despeñaperros, en la Autovía A-4 (Madrid- Sevilla), 1979





EL PROYECTO DE LA CARRETERA

Muchos son los factores que entran en juego a la hora de diseñar una vía y el proyectista de carreteras debe considerarlos ponderadamente, ajustando la solución final de forma que cumpla con las máximas exigencias a un mínimo coste. El factor económico suele adquirir preponderancia sobre el resto; generalmente así, aunque hay casos en los que necesariamente debe sacrificarse este aspecto en favor de otros, generalmente de índole geográfico, medioambiental o estratégico.

Estos factores, sopesados utilizando criterios eminentemente técnicos, van introduciéndose a lo largo de las distintas etapas que se van desarrollando durante el proceso de proyecto de una carretera. Cada una de ellas se apoya en las anteriores para seguir avanzando y concretando más cada uno de los aspectos, bien descartando posibles soluciones o bien matizando las existentes para finalmente cristalizarse en un documento: el proyecto.

El PROYECTO es el pilar fundamental sobre el que se asienta la realización de cualquier tipo de obra; es un compendio de toda la información necesaria para llevarla a buen término, donde se reflejan y establecen justificadamente todas sus características y dimensiones, se dan las precisas instrucciones para su construcción, indicándose además los materiales apropiados y valorándose todas y cada una de las unidades que la componen.

LAS FASES DE ESTUDIO

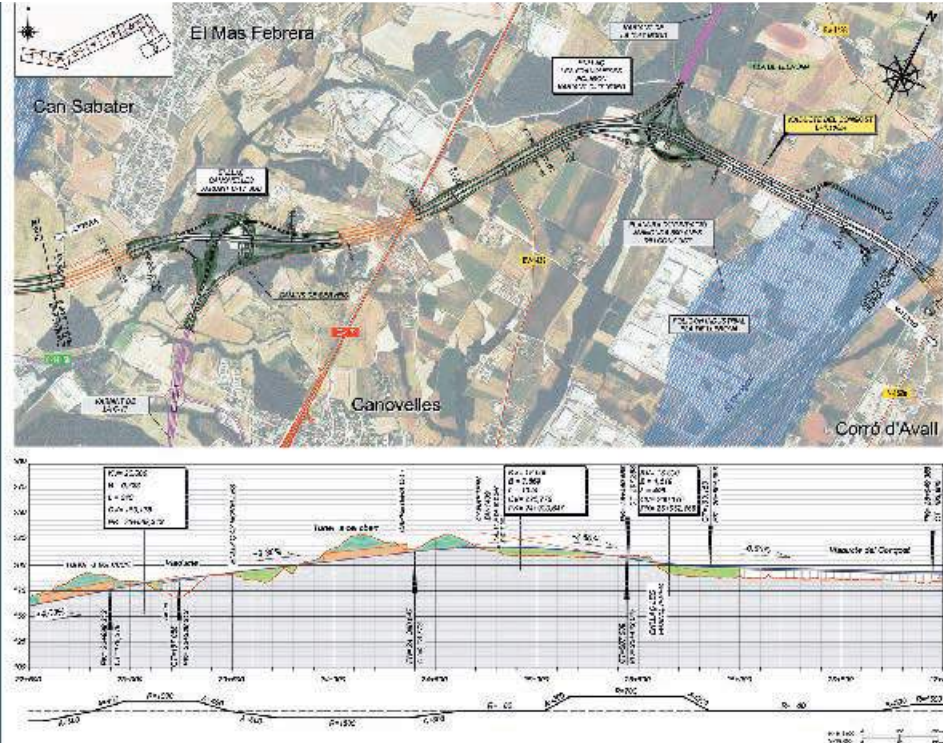
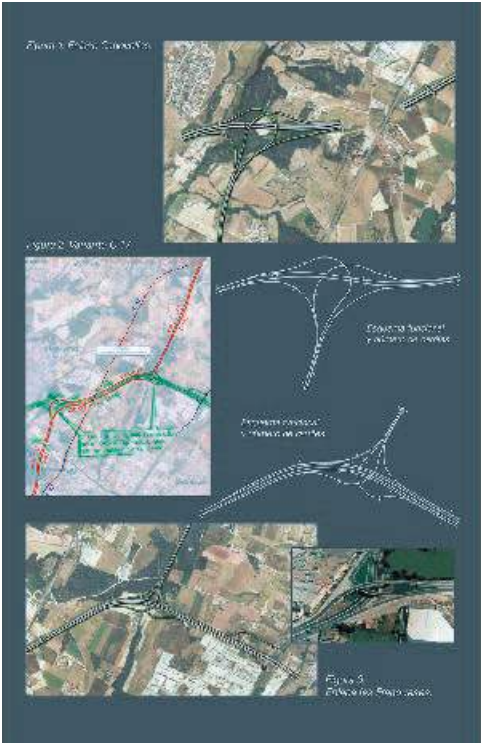
La carretera, como vía proyectada y construida para la circulación de vehículos, no solo deberá limitarse a resolver de forma efectiva el traslado de un punto a otro de la superficie del territorio, sino que deberá hacerlo asegurando las máximas condiciones de seguridad y comodidad a sus usuarios, así como integrándose en el paisaje por el que discurre y del que forma parte.

Para abordar la realización de cualquier proyecto en general, y de una carretera en particular, deben plantearse tres fases operativas:

- Estudiar el problema que quiere resolverse, recopilando los datos necesarios.
- Plantear una serie de posibles soluciones al problema; generalmente existen y deben plantearse más de una.
- Realizar un análisis de cada una de ellas estableciendo su idoneidad, estudiando los problemas a corto y largo plazo que conllevaría el llevarla a cabo.

(pág. izquierda)

Estudio Previo de la Ronda del Vallés (Barcelona), 2008



La primera de las fases operativas la constituyen los denominados estudios previos donde, en base a una serie de datos de carácter técnico y socioeconómico, se justificaría la actuación, bien construyendo una nueva vía, mejorando una ya existente o acondicionando determinados puntos aislados de la misma.

Una vez recopilada la información necesaria, se plantearían y analizarían las posibles soluciones en base a distintos criterios y factores condicionantes. Como síntesis de este proceso de análisis se obtiene el anteproyecto.

Habiendo barajado las posibles alternativas, el siguiente paso es la elección justificada de la más favorable. En el denominado proyecto de trazado se plasmará la solución finalmente adoptada. Por último, y como resultado de las anteriores fases operativas, se redactaría el proyecto de construcción de la vía, donde se especifica cómo debería ser ejecutada dicha obra. En dicho proyecto constructivo se debería incluir un plan de conservación y explotación valorado.

EL TRAZADO

El trazado constituye la primera toma de contacto de la carretera con el medio físico en el que va a integrarse. Este factor es de vital importancia, ya que el resto de elementos que definen la carretera —afirmados, drenaje, señalización, balizamiento, obras de fábrica, etc.— están supeditados a él. Podría decirse que el trazado confiere una personalidad determinada en la carretera

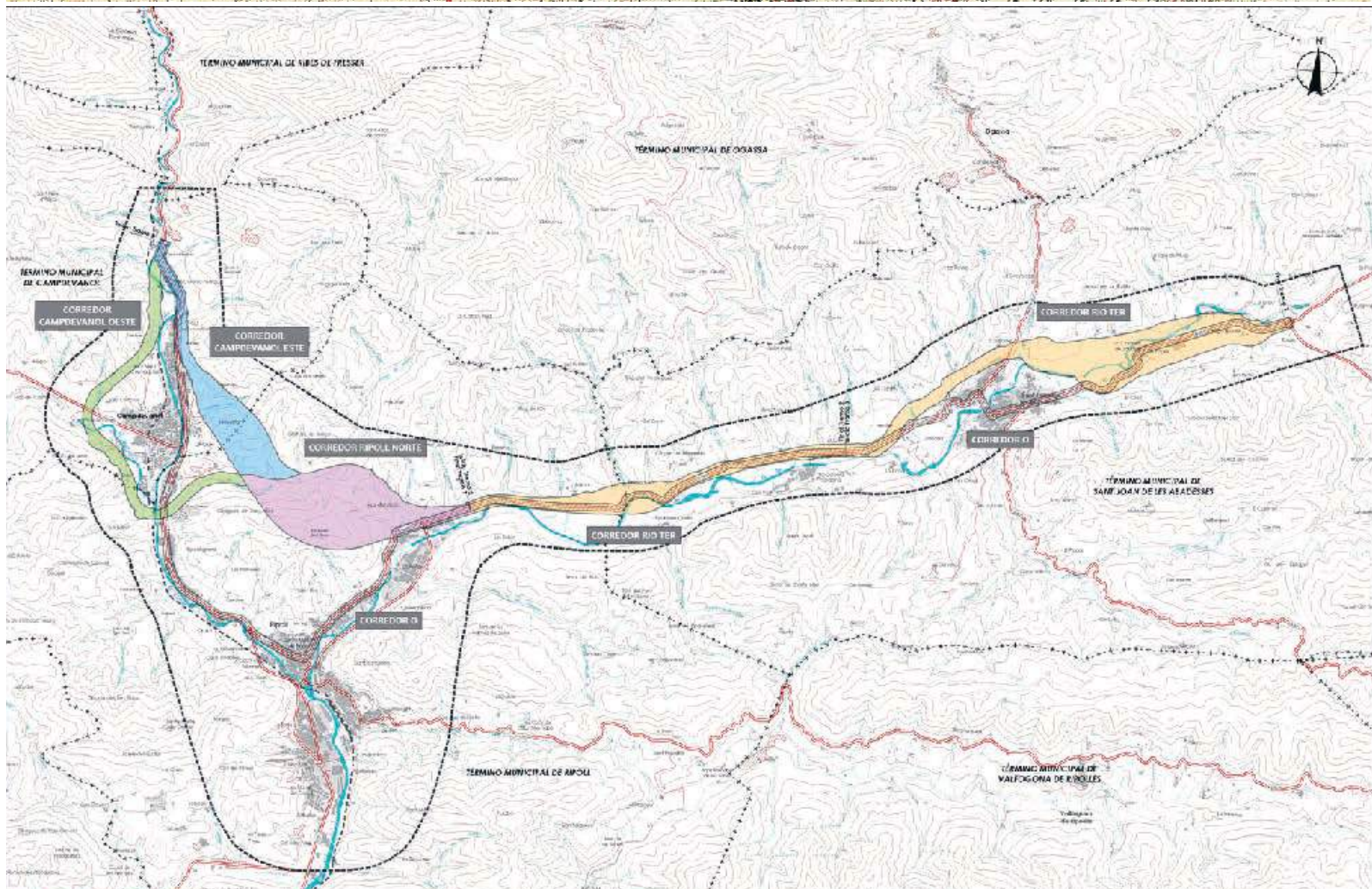
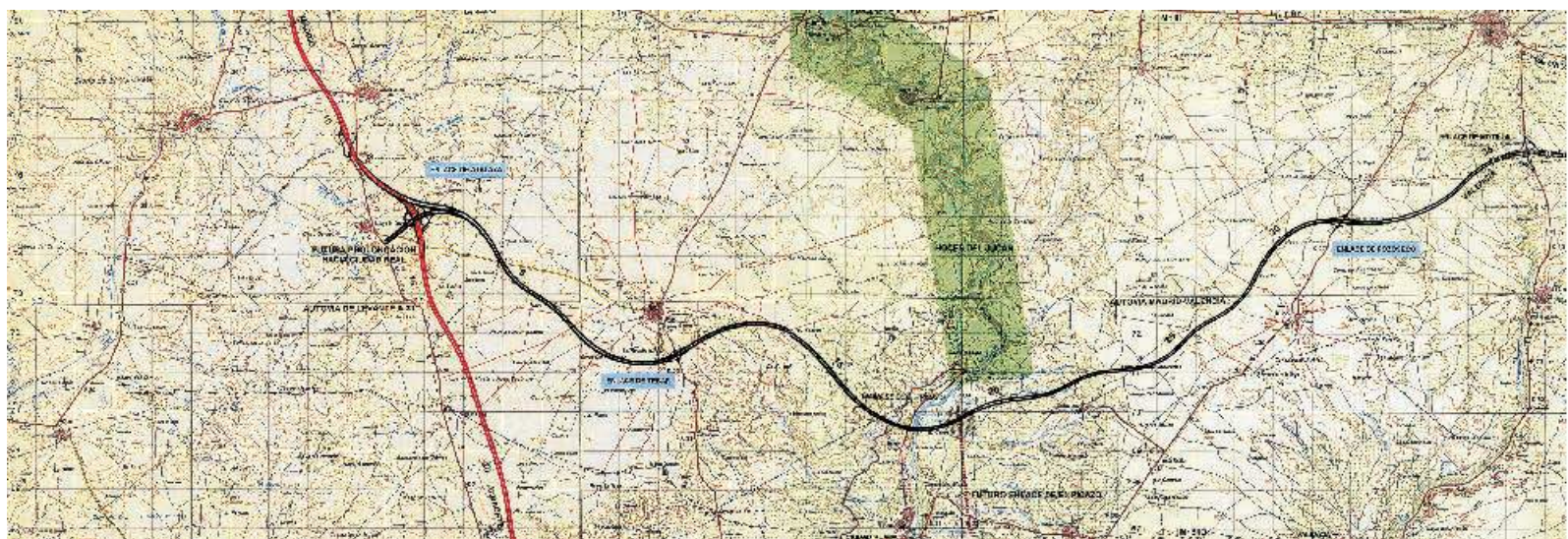
La calidad de una vía está seriamente condicionada por su trazado. Un trazado deficiente o poco estudiado puede acarrear pésimas consecuencias, que van desde disminución del nivel de servicio de la carretera hasta el aumento del número de accidentes en determinadas zonas de la misma. El trazado también influye en aspectos externos a la propia vía, como son los factores de tipo medioambiental, socioeconómico e incluso político.

Muchos son los factores a considerar a la hora de plantear el trazado de una carretera: algunos de ellos plantean problemas prácticamente insalvables, y condicionan de alguna forma su geometría; otros obedecen a criterios más flexibles, lo que deriva en la existencia de diversos trazados aparentemente válidos. Es aquí donde entra el criterio del proyectista que, auxiliado por la tecnología actual y en base a determinados parámetros orientativos, debe analizar los pros y los contras de cada solución y decidir cuál es la más apropiada, que necesariamente no tiene por qué ser siempre la más barata.

(pág. izquierda)

Estudio Informativo de la Autovía de la Plata, tramo Zamora- Salamanca- Béjar, 1994

Estudio Previo de la Ronda del Vallés (Barcelona), 2008



LA GEOMETRÍA DE LA CARRETERA

Geométricamente, la carretera es un cuerpo tridimensional totalmente irregular, lo que un principio hace complicada su representación. Sin embargo. Posee una serie de particularidades que simplifican y facilitan su estudio:

- El predominio de una de sus dimensiones respecto a las otras dos: la carretera es una “obra lineal”.
- La posibilidad de reproducirla fielmente mediante el desplazamiento de una sección transversal que permanece constante a lo largo de un eje que define su trayectoria

Estas dos características permiten la adopción de un sistema de representación relativamente sencillo, de fácil interpretación y muy útil desde el punto de vista constructivo. En base a este sistema, la carretera queda totalmente definida mediante tres tipos de vistas: planta, perfil longitudinal y perfil transversal. No obstante, pueden emplearse otros tipos de representación —como la perspectiva cónica— de cara a realizar estudios más específicos sobre un determinado aspecto, como la visibilidad, la integración ambiental, etc.

LOS FACTORES CONDICIONANTES

En las obras de carreteras, existen una serie de factores que condicionan las posibles soluciones de trazado en planta de una vía, como son:

(a) Puntos de paso obligado: Serie de puntos que, por diversos motivos condicionan y limitan la elección del trazado. Algunos de estos factores son:

- Factores topográficos: Existen zonas que por presentar una determinada topografía, zonas montañosas, barrancos y depresiones, etc., dificultan y encarecen la construcción de obras de carreteras.
- Factores geológicos: La presencia de terrenos no aptos por su baja capacidad portante y la proximidad de zonas de extracción de áridos —una de las materias primas para la construcción de carreteras— son los más reseñables.
- Factores climatológicos: Datos condicionantes del tramo, climatología adversa y vialidad invernal.

(pág. izquierda)

Trazado general de la Autovía A-3 entre Atalaya y Motilla (Cuenca)

Estudio Informativo de la carretera N-260, tramo enlace con la carretera C-38 Ripoll-Campdevánol (Girona), 2014

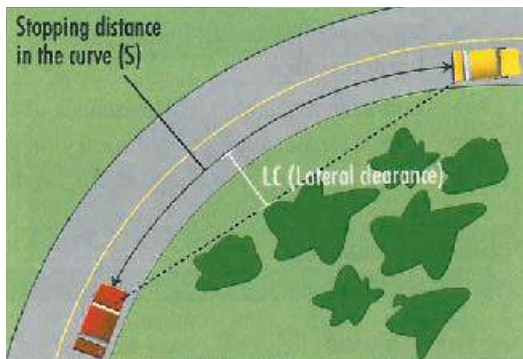
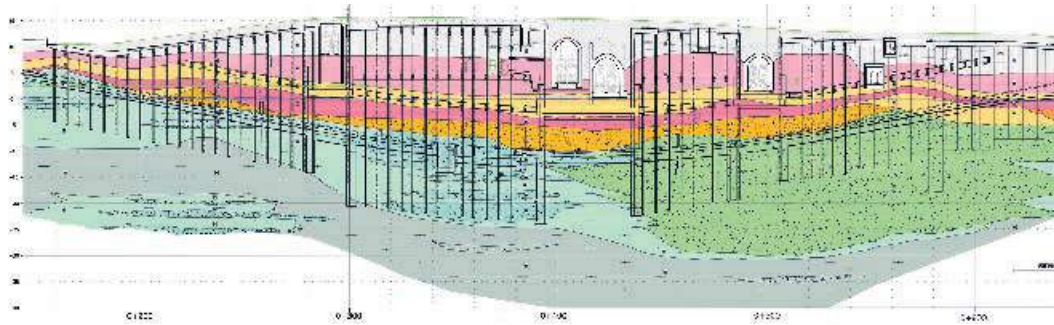
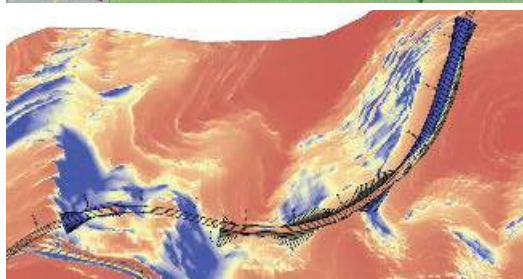
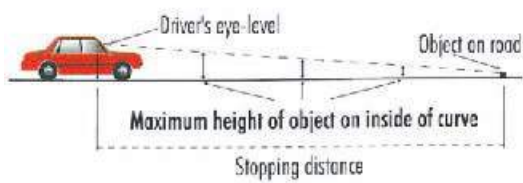


Figure HA-22 Maximum height of an object on the inside of a curve



- Factores hidrológicos: La existencia de cauces hidráulicos y zonas inundables pueden desaconsejar que el trazado discurra por dichas zonas. Estudio de inundabilidad, régimen de avenidas, análisis de riesgo, etc.
- Factores urbanísticos: Los planes de Ordenación aprobados o previstos, así como el uso del suelo, facilitarán o dificultarán la realización de un trazado u otro.
- Factores sociales: la comunicación de determinados núcleos de población puede condicionar en mayor o menor medida el trazado de la vía.

(b) Uniformidad y visibilidad: Se procurará dar la máxima visibilidad posible evitando grandes pendientes, sobre todo el trazado en tobogán, y variaciones bruscas de curvatura. Además, el trazado debe ser uniforme, para facilitar la adaptación del conductor al trazado de la vía.

(c) Monotonía: Un trazado donde predominan las grandes alineaciones rectas provoca en el conductor una sensación de monotonía y dispersión mental. Por ello es recomendable proyectar trazados donde no proliferen este tipo de alineaciones, siendo la tendencia actual a realizarlos enlazando curvas con clotoides exclusivamente.

(d) Zonas protegidas: A lo largo del trazado previsto pueden existir determinados enclaves que, por su valor histórico-artístico, ecológico o de otro tipo estén protegidos por el Estado, no pudiendo expropiarse; este hecho obligará a un replanteo del trazado, al menos en el entorno de la zona afectada.

Por último, son de vital importancia los factores de carácter económico, que atañen tanto al coste de construcción de la vía o inversión como al coste de explotación de la misma. La minimización de ambos costes, en consonancia con los factores anteriormente tratados proporcionarán la solución de trazado óptima.

(pág. izquierda, de izda. a dcha. y de arriba a abajo)

Perfil geológico de los túneles de la Plaza de las Glorias. Barcelona

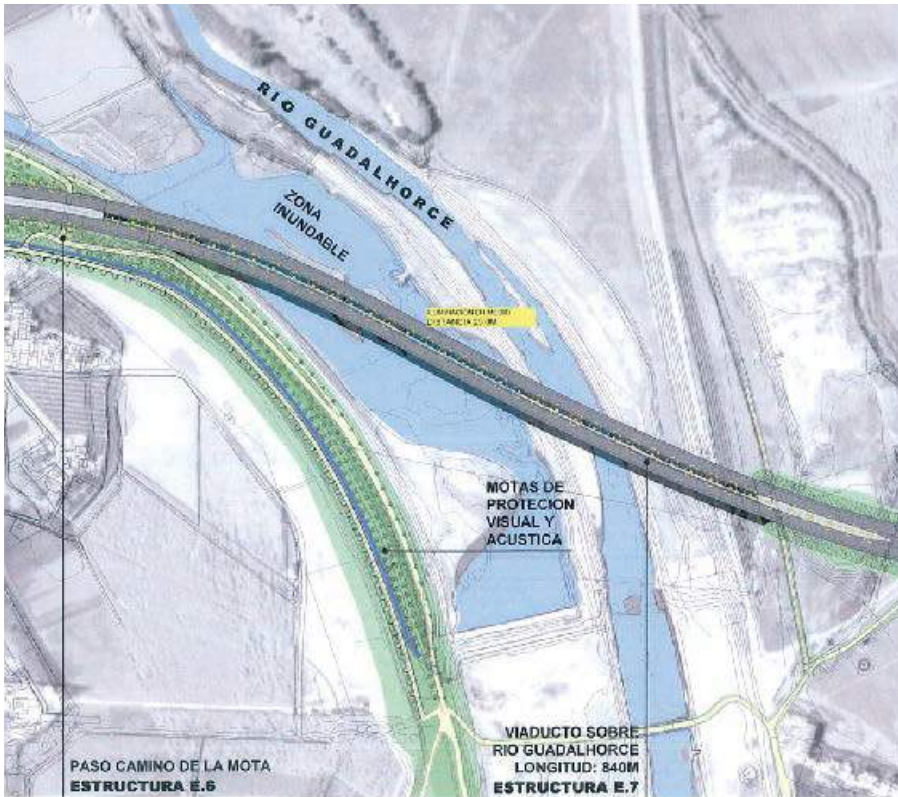
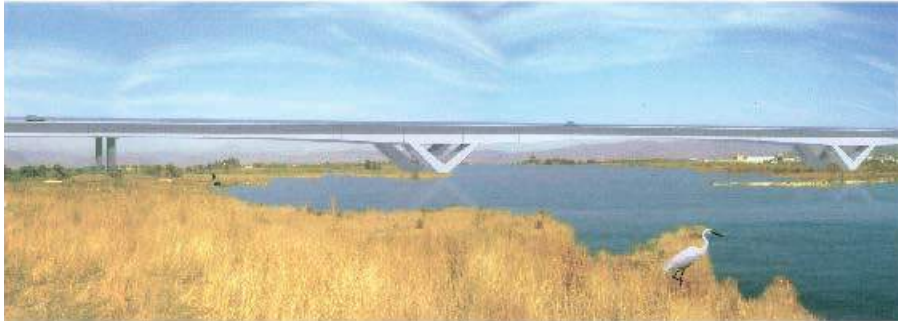
Análisis de los obstáculos en los márgenes. Visibilidad en planta en curvas circulares.

Estudio de tramos con posible formación de placas de hielo

Las dunas invaden sistemáticamente la carretera de acceso a Punta Paloma, Cádiz

“La imagen muestra un puente magníficamente proyectado que ha sido capaz de soportar las avenidas de un río, con sentido del humor, que puso de manifiesto los limitados conocimientos hidráulicos de quienes proyectaron la desaparecida carretera”. (J. Rui-Wamba, *Autopías*)

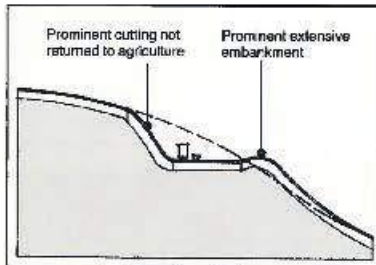
Operaciones de viabilidad, retirada de la nieve y extendido de fundentes



(pág. derecha)

Fichas de ejemplos de una buena adaptación, planta y alzado, de la carretera en el territorio. Normativa del Reino Unido. *Design Manual for Roads and Bridges*, "Environmental Desing"

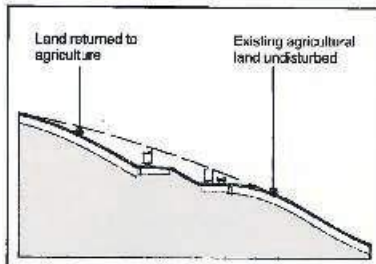
Autovía de Circunvalación a Málaga, 2006



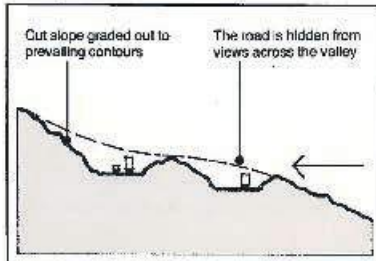
Poor practice



Good practice: M6, Lune Gorge, Cumbria
Split carriageways have been combined with grading out and the return to pasture of



Good practice



Concealing the road completely This can be done in suitable terrain by creating separate cuttings for each carriageway

LA ARMONÍA PLANTA-ALZADO

La consideración independiente de los trazados en planta y alzado facilita enormemente la labor al proyectista a la hora de plantear el trazado de una carretera. Por este motivo debe prestarse una especial atención a su coordinación, de forma que se obtenga un trazado conjunto que proporcione al conductor en todo momento una sensación de seguridad y comodidad (legibilidad de la carretera), evitándole sorpresas y desorientaciones.

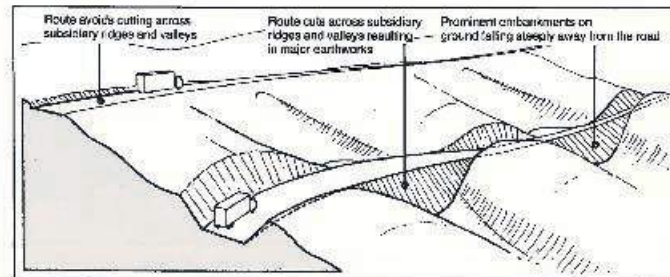
Para la realización de este tipo de estudios se suele emplear una serie de perspectivas cónicas desde el punto de vista del conductor, por lo que antes de la aplicación del desarrollo de la Informática a la Ingeniería de Carreteras su realización era más complicada. En la actualidad no existe este problema, pudiendo incluso realizarse simulaciones de recorrido (3D) a tiempo real, fijando parámetros como la velocidad, la altura del punto de vista e incluso las condiciones ambientales y del firme, etc.

7.4 GOOD ALIGNMENT



A30, Okehampton Bypass Well placed alignment on the valley side means that the route is concealed from Dartmoor on the higher ground and avoids the intricate landscape of the valley bottom

7.5 AVOIDING MAJOR EARTHWORKS



LOS PUENTES, LOS TÚNELES Y LAS ESTRUCTURAS

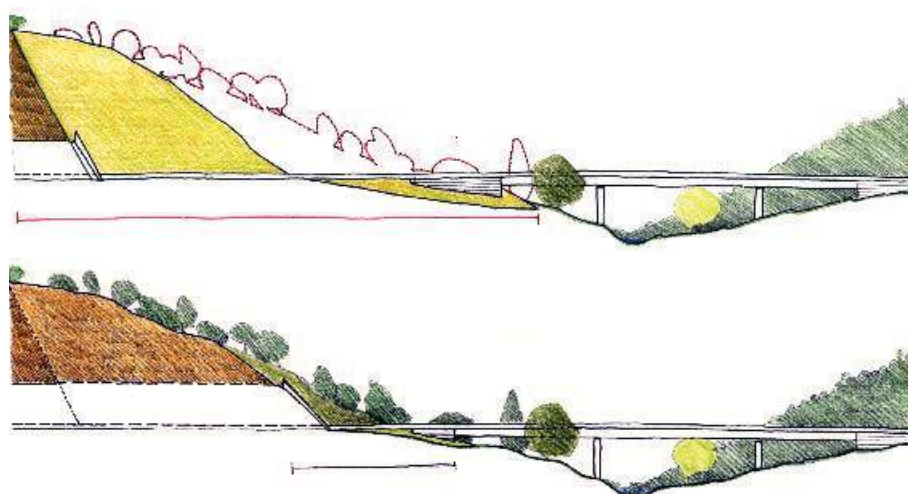
En el desarrollo del proyecto deberá prestar una especial atención a la integración de los viaductos, túneles, puentes y demás obras de paso y entre otros aspectos se deberían realizar los siguientes:

VIADUCTOS

- Selección de las tipologías de los puentes y estructuras
- Definición de la luz total del puente, de las dimensiones y altura de los estribos, del número y de la separación entre pilares
- Solución para la transición puente-túnel-desmante/terraplén
- Restauración de la vegetación afectada
- Minimizar el número de pilares y la ocupación física de los márgenes de las riberas de los ríos
- Previsión de los medios auxiliares y accesos para la construcción

TÚNELES

- Estudio de tipologías y emboquilles más adecuados teniendo en cuenta la geología y geotecnia, la orografía y la naturaleza del entorno
- Análisis de la transición túnel-viaducto / túnel con continuidad de un tramo en desmante o terraplén
- Estudio de los accesos provisionales o definitivos (medidas de seguridad) a las bocas.

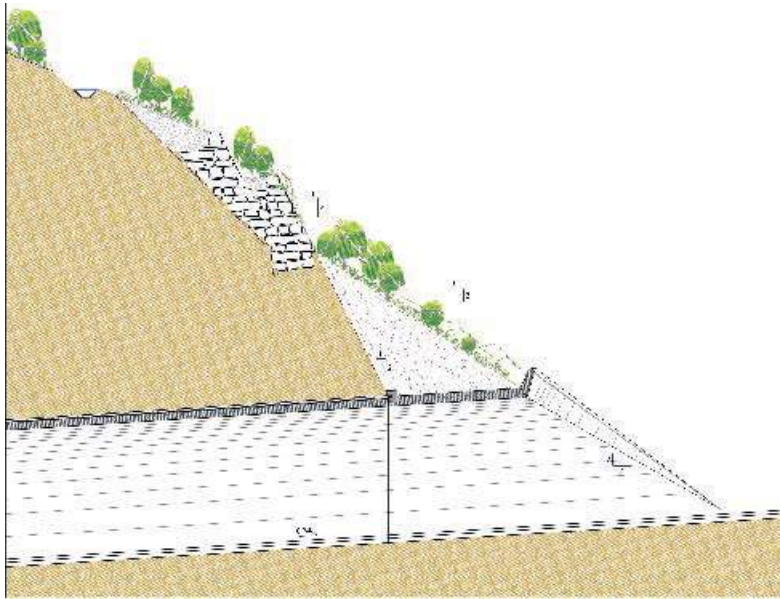


(pág. derecha)

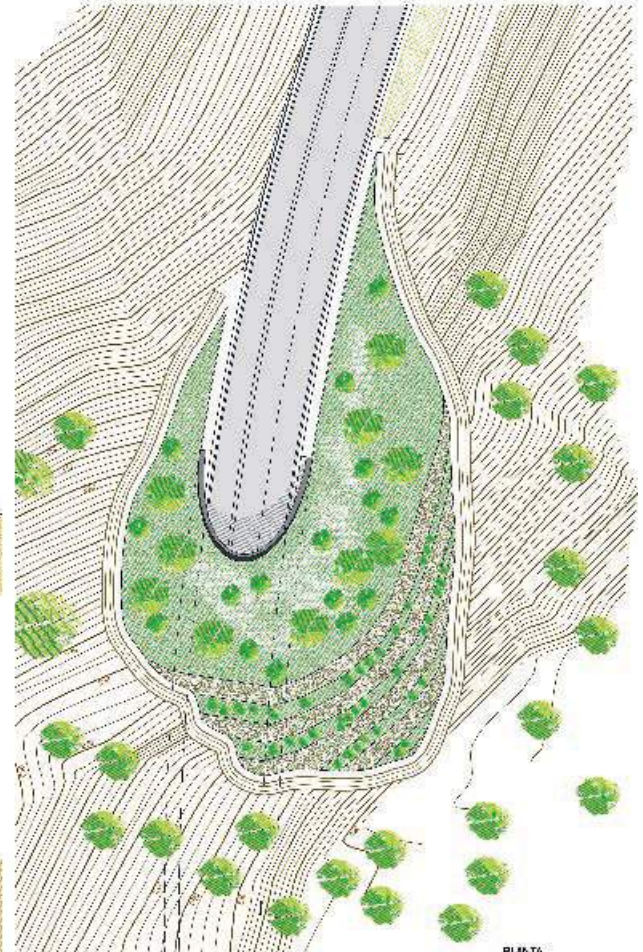
Boquilla de acceso al túnel de San Pedro en la carretera LP-3, La Palma (Canarias) (derecha)

Emboquilles de los túneles del proyecto del Pas de Comiols. Cataluña, 2012 (abajo)

Croquis de distintas tipologías de tramos de transición túnel-viaducto



T3NE_ ARTIFICIAL 25.1 SORTIDA
SECCIÓN LONGITUDINAL



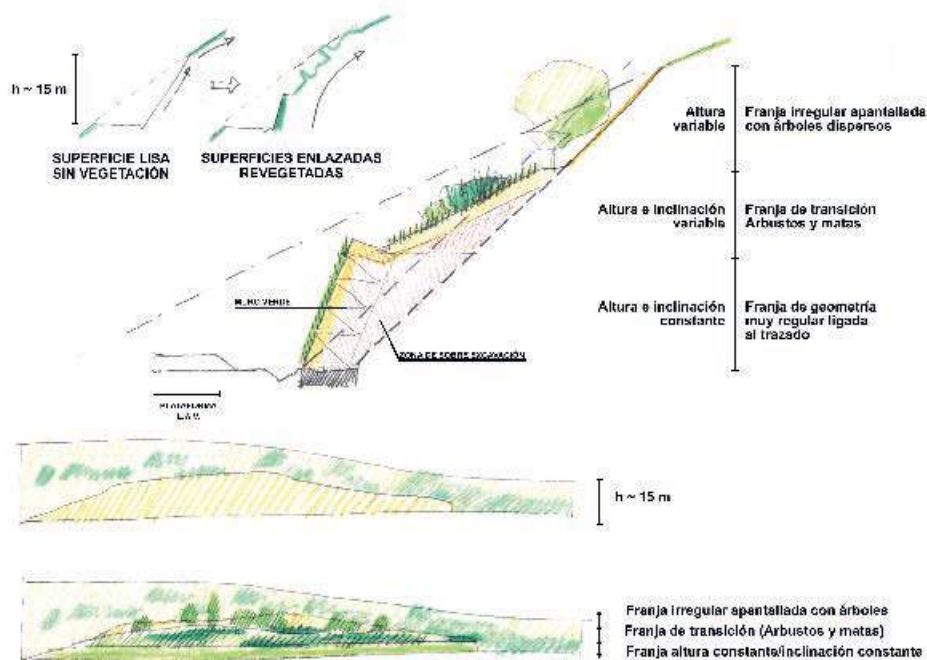
PLANTA

EL TRATAMIENTO DE LOS BORDES EN TALUDES DE DESMONTES Y TERRAPLENES. MUROS DE CONTENCIÓN

Para minimizar la ocupación del espacio en grandes terraplenes y desmontes o en estribos de los puentes se analizará la ubicación de muros de contención a pie de terraplén o en desmonte. Esta medida es especialmente necesaria si los terraplenes pudieran afectar, por ejemplo, a las riberas de los ríos o vertientes con comunidades vegetales de interés especial. Se plantearán propuestas que contribuyan, además, a la integración paisajística y ambiental de elementos muy notorios que, a pesar de ello, en ocasiones, suelen estar pobremente resueltos.

Tratamientos de los márgenes para una mejor integración de la carretera en el territorio

CRITERIO DE INTEGRACIÓN DE DESMONTE PARA ADAPTAR LAS FORMAS LISAS A FORMAS COMPUESTAS DE GEOMETRÍA VARIABLE Y POSIBILIDAD DE REVEGETACIÓN (RANGO DE LA SOLUCIÓN ~ 15 mts DE ALTURA)



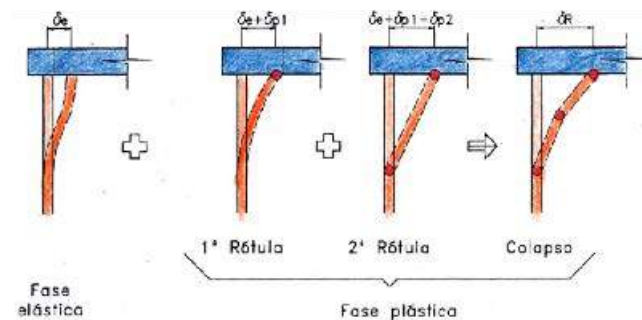
LOS PUENTES INTEGRALES

Conceptualmente, estos puentes, distintos de los convencionales, se caracterizan por la conexión monolítica entre el tablero y los elementos de subestructura: pilas y estribos. Así pues, se eliminan los apoyos y juntas, que en muchas ocasiones son fuente de problemas durante la vida útil de la estructura, consiguiéndose, de este modo, una “unidad” estructural.

Esta concepción monolítica del puente, inicialmente desarrollada para minimizar los costes de mantenimiento de la estructura, dota a la misma de una remarcable redundancia estructural que mejora la respuesta del puente y, por tanto, su nivel de seguridad. Además, con esta solución estructural se consiguen, de forma paralela y por definición, una serie de ventajas, algunas de ellas muy interesantes desde el punto de vista de la sostenibilidad:

- Reducción de los costes de conservación y mantenimiento de estas estructuras
- Incremento de su vida útil
- Mejora del confort del viajero (usuario de la infraestructura)
- Dotación de una reserva de resistencia a la estructura del puente cuando ésta se ve sometida a acciones de carácter imprevisto o singular.

Puentes integrales. La importancia de comprender el comportamiento frente a deformaciones impuestas



Puentes integrales en la autovía A-14. Tramo Roselló-Almenar, Lleida

Frente a este panorama de ventajas y convencidos de la bondad de esta solución, Esteyco ha apostado, ya desde hace muchos años, por la solución integral en estructuras en las que los condicionantes existentes la hicieran viable. Prueba de ello son la variedad de puentes integrales (o semi-integrales) proyectados por Esteyco, muchos de ellos construidos y actualmente en servicio, y el constante trabajo realizado entorno al impulso de esta solución.

Ya a finales de los 90 Esteyco propuso y redactó, para la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, una “Guía para el Proyecto de Puentes Integrales de Carreteras” y que ha impulsado la construcción de numerosos puentes integrales en nuestro país.

Estructura mixta integral, Viaducto del Guarga en la Autovía Mudéjar. Aragón, 2014



LA MEJORA DE LA CALIDAD DE LOS PROYECTOS

Con el afán de mejorar la calidad de los proyectos, en su conjunto, y de tener un control presupuestario más exhaustivo, la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento venía impulsando sistemáticamente la celebración de reuniones, jornadas, congresos, conferencias, etc., que ayudarán a divulgar y unificar los criterios de todos los que conforman el sector de la ingeniería, ya sean de los organismos públicos como de las empresas consultoras. Una de las principales iniciativas llevadas a cabo, en la década de los noventa, fue la de poner en marcha el Control y Seguimiento por fases de los proyectos de carreteras.

Medida seguida también por otras administraciones con competencias en carreteras de nuestro País.

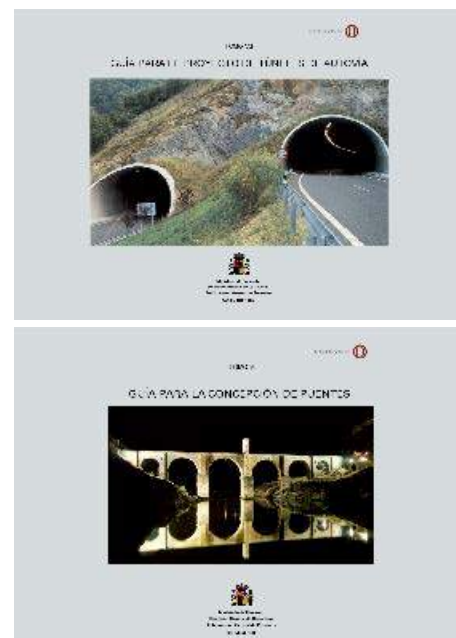
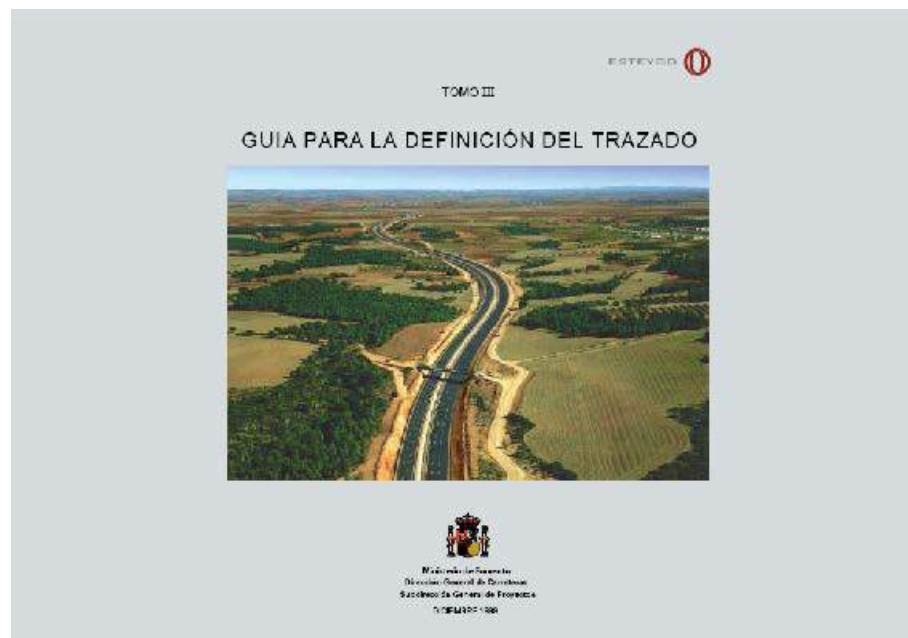
Tras varios años de desarrollo de esta iniciativa, la Subdirección General de Proyectos en 1998, encarga a Esteyco la elaboración de una serie de Guías Metodológicas, con el objetivo principal de divulgar toda la experiencia acumulada en el proceso de Control y Seguimiento de los proyectos.

Tramos de autovía de control de seguimiento por fases. Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, 1994-1996



En consecuencia, se redactaron las once guías metodológicas siguientes:

- Guía para la concepción de puentes
- Guía para los proyectos de carreteras
- Guía metodológica para la inclusión de las consideraciones ambientales en los proyectos de carreteras
- Guía de medio ambiente
- Guía para la caracterización y preparación de los parámetros geológicos y geotécnicos de los proyectos de carreteras
- Guía para la concepción y definición del drenaje para los proyectos de carreteras
- Guía para la definición del trazado
- Guía para el proyecto de túneles de autovía
- Guía de unidades de obra, precios y prescripciones técnicas particulares para proyectos de autovías
- Guía metodológica para los estudios de seguridad y salud en el trabajo de los proyectos de carreteras
- Guía para el control de costes análisis estadístico de los componentes fundamentales del coste total de las obras definidas en un proyecto de autovía
- Guía para la edición informática de proyectos.



EL DOCUMENTO PREVIO CONCEPTUAL (P-10)

Se pretende que este documento (P-10) sea una parte primordial del trabajo previo para abordar el Proyecto en la buena dirección desde el inicio de su gestación. Dada su importancia, un equipo multidisciplinar de ESTEYCO con más experiencia, toma parte en su elaboración conceptual y en la toma de decisiones

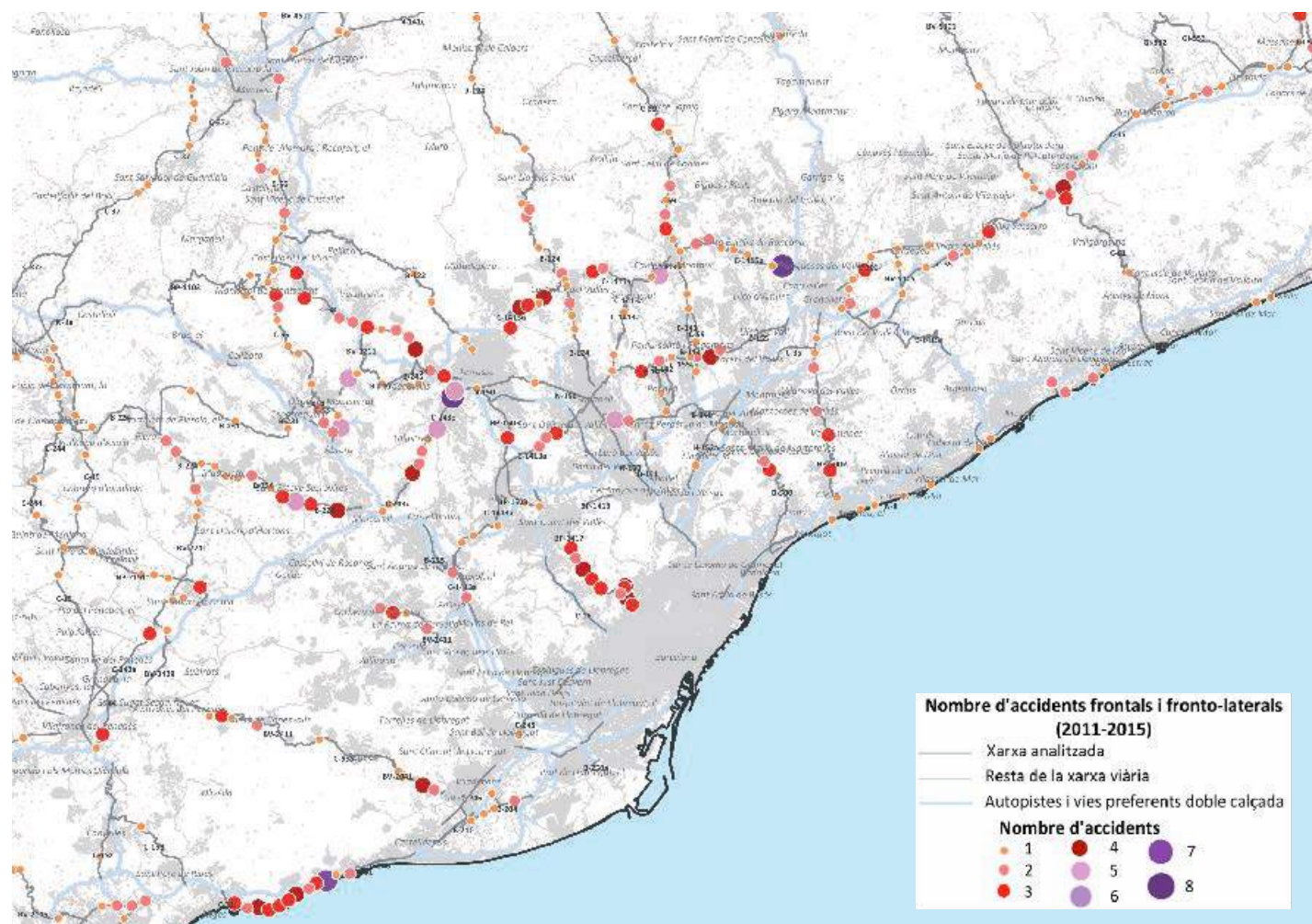
Su nombre surge del concepto de que el tiempo de dedicación a su elaboración es aproximadamente un 10% del tiempo total que requerirá la elaboración del proyecto en cuestión. Cabe recordar que una decisión poco acertada al inicio de un proyecto puede conducir a demoras en el tiempo de elaboración y a importantes repercusiones económicas.

Conceptualmente se trata de encajar todas las partes del proyecto que definen su carácter, que tienen una implicación relevante, que son condicionantes de otros elementos del proyecto o que pueden modificar sustancialmente su coste.

Por tanto, cabe estudiar los elementos del trazado, de las estructuras, aspectos geológicos, medioambientales, de drenaje etc., plasmar en el documento el trazado escogido, la tipología y geometría estructural, el presupuesto aproximado de la actuación, elementos primordiales a tener en cuenta en el pliego de condiciones, de tal manera que sirva como hoja de ruta para el desarrollo detallado en la fase de elaboración del proyecto.



Ejemplo de P10 elaborado para el Proyecto Constructivo del Pas de Comiols. Cataluña, 2011



SOBRE LA SEGURIDAD VIAL

Sin duda, el principal objetivo que debe cumplir una carretera —y en general cualquier infraestructura de transporte— es garantizar que el usuario realice su desplazamiento sin sufrir percance alguno. Por desgracia, esta premisa es imposible cumplir en su totalidad, y el binomio carretera-accidentes es cada vez más difícil de disolver, debido a las peculiares características que posee el transporte por carretera.

- Es un medio de transporte popular, empleado por la práctica totalidad de la población, lo que desemboca en una masificación y heterogeneidad del colectivo que hace uso de él.
- El grado de profesionalización de los conductores de vehículos es bajo, comparado con otros medios de transporte. Este hecho provoca con mayor frecuencia la aparición de actitudes irresponsables, tales como la ingestión de alcohol, la realización de maniobras peligrosas, el exceso en los límites de velocidad o la conducción ininterrumpida durante varias horas.
- En zonas localizadas, y para unas determinadas condiciones ambientales, el trazado o el estado del firme puede contribuir a una disminución de las condiciones de seguridad, lo que unido a los anteriores factores aumenta el número de accidentes en dicho tramo. Son los conocidos tramos de concentración de accidentes.

Para la evaluación del grado de peligrosidad o accidentalidad de un tramo se recurre a barajar relaciones como el número de accidentes por vehículos y kilómetro, el número de muertos por kilómetro, o el índice de gravedad, definido como el número de muertos por cada 100 accidentes con víctimas. Estos datos estadísticos se obtienen del análisis de los partes de accidente debidamente cumplimentados por la autoridad competente.

(pág. izquierda)

Datos de accidentalidad en los tramos de concentración de accidentes de la Red de Carreteras de Cataluña

LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS ACCIDENTES

El transporte por carretera puede asemejarse a un engranaje compuesto por tres piezas —conductor, vehículo, y carretera— en el que el fallo una de ellas provoca un desbarajuste del sistema, ocasionando graves consecuencias que derivan en un accidente. Pero el problema no es tan simple, ya que los vehículos que circulan sobre la vía interaccionan entre sí, multiplicando las posibilidades de accidente.

Estudiemos pormenorizadamente cada uno de estos tres factores: hombre, máquina y vía.

EL FACTOR HUMANO

La propia naturaleza del hombre nos da idea de su imperfección y de la propensión que tiene a cometer errores. Las estadísticas de accidentes corroboran este dato, mostrando que en la gran mayoría de los accidentes se desencadenan por un fallo humano.

El comportamiento del conductor al volante depende de un gran número de factores permanentes y transitorios, de entre los cuales destaca el alcohol por su capital importancia en los accidentes: en más de la mitad de los accidentes mortales se ve involucrado el volátil elemento.

Está científicamente comprobado que el alcohol no es un producto estimulante sino todo lo contrario, actuando sobre el sistema nervioso humano como un sedante, reduciendo la capacidad de reacción y aumentando la desorientación. Además, provoca una fatal sensación de euforia que hace que el conductor no tome plena conciencia de su merma de facultades, creyéndose aún más capaz de conducir correctamente.

No obstante, la mejor arma de la que se dispone actualmente es la prevención, que debe llevarse a cabo mediante campañas informativas e incluso endureciendo las sanciones. Pero, sobre todo, se debe actuar sobre el rango de población más joven: la concienciación del futuro usuario a través de la educación vial es sin duda el vehículo más efectivo a largo plazo y el que mejores resultados arrojará en la eterna cruzada contra los accidentes de tráfico.

Accidente por alcance en la Natcher Parkway, Washington



EL FACTOR VEHÍCULO

Por lo general, el vehículo no suele ser causa fundamental de generación de accidentes, siempre y cuando tenga un adecuado mantenimiento y puesta a punto, especialmente antes de emprender largos viajes. Entre los accidentes achacables al vehículo destacan los pinchazos, reventones, rotura de la dirección, neumáticos en mal estado o los frenos desgastados.

En las últimas décadas, el aumento de la velocidad que pueden desarrollar este tipo de máquinas ha llevado aparejada la aparición de nuevas medidas de seguridad, tanto activa como pasiva. Así, han ido apareciendo nuevos dispositivos, como los conocidos airbag, el sistema de antibloqueo de frenos (ABS) o el empleo de la carrocería del vehículo para absorber de forma óptima el impacto, sin olvidar el simple pero efectivo cinturón de seguridad.

Las nuevas tecnologías instaladas en los vehículos, claves en la reducción de accidentes en carretera

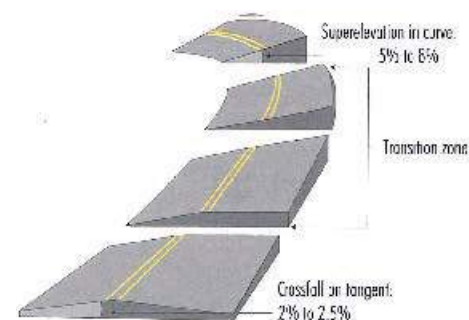
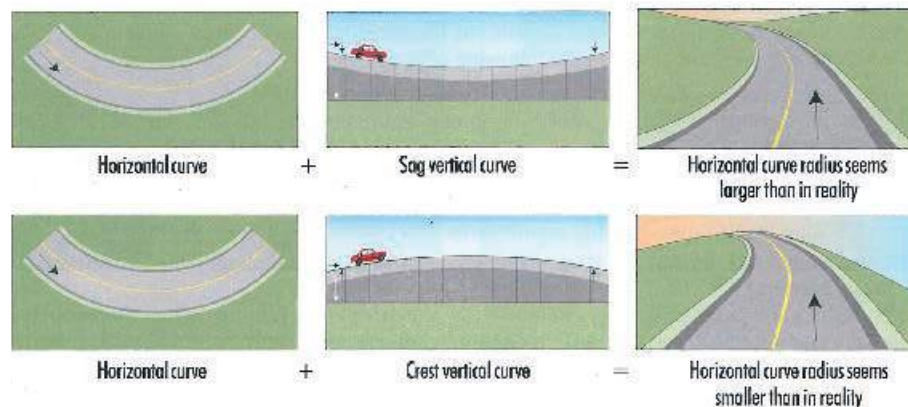


EL FACTOR VÍA

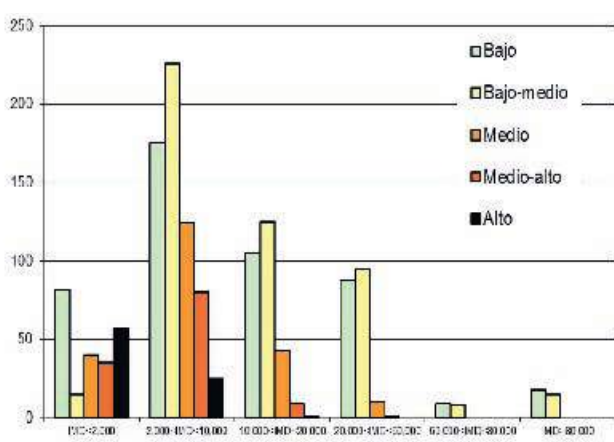
Sin duda, éste es el factor que más concierne al ingeniero de carreteras, tanto a la hora de proyectar vías de nuevo trazado como cuando se trate de remodelar determinados tramos propensos a producir accidentes.

Como hemos ya hemos indicado con anterioridad, la seguridad es una condición de diseño prioritaria, por lo que la influencia de las carreteras en los accidentes debería ser, si no nula, mínima. Aun así, las características más reseñables desde el punto de vista de la generación de accidentes son las siguientes:

- **Curvas cerradas:** Dada su mayor exigencia dinámica, las alineaciones formadas por curvas —específicamente si son cerradas, con radios inferiores a 400 m— presentan un mayor índice de accidentalidad que las alineaciones rectas; dicha probabilidad aumenta si coinciden en alzado con rampas de gran inclinación.
- **Rampas:** La reducción de velocidad en un vehículo pesado provocada por una rampa puede no ser percibida por el vehículo ligero que circula tras él, provocándose una colisión trasera. Este tipo de accidentes es propio de autopistas y autovías.
- **Armonía en el trazado:** Un trazado excesivamente heterogéneo —con tramos curvos aislados intercalados entre largas alineaciones rectas, por ejemplo— puede ser foco de generación de accidentes, al coger por sorpresa al conductor, que debe adaptar el vehículo a unas condiciones más restrictivas en un corto periodo de tiempo.



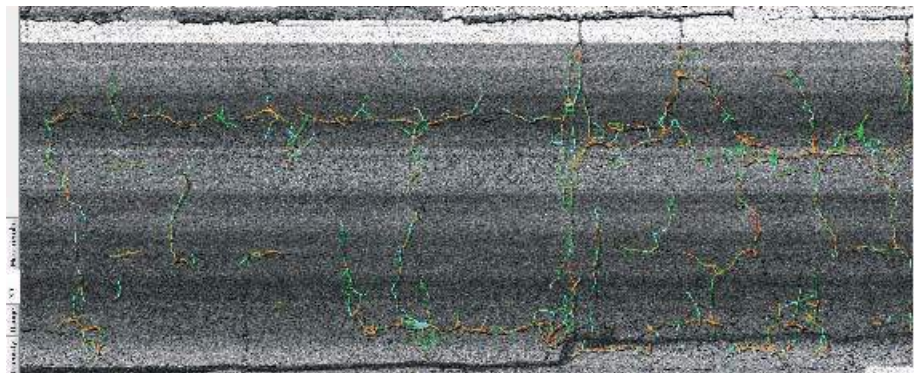
La importancia del estudio de la zona de transición y el peralte de la curva



Índice de riesgo de la Red de Carreteras según la IMD

- **Sección transversal:** La separación efectiva de los sentidos de circulación, mediante barreras, disminuye sustancialmente tanto el número como la severidad de los accidentes producidos en la vía; así, los choques frontales serán casi imposibles, mientras que serían la principal causa de graves accidentes en carreteras de dos carriles, sin protección entre los dos sentidos de la circulación. La anchura de carriles y arcenes también influyen de forma significativa en la generación de accidentes. Los carriles de menos de 3 m de anchura registran mayor accidentalidad, mientras que los arcenes de ancho excesivo pueden ser empleados indebidamente como carriles de circulación, aumentando el riesgo de accidente.
- **Intensidad:** Generalmente, la accidentalidad disminuye con el aumento de la intensidad de tráfico. Además, el tipo de accidente predominante no es el mismo en carreteras de baja IMD —donde afectarán a vehículos aislados— que, en aquellas próximas a su capacidad, donde se darán choques en cadena.
- **Nudos y puntos de acceso:** Los puntos de convergencia de dos o más corrientes independientes de tráfico suelen ser especialmente críticos en lo que a accidentes se refiere. En este sentido, cabe prestar especial atención a los cruces e intersecciones a nivel, así como a los ramales de incorporación y salida de vías de alta velocidad.
- **Estado del firme:** Un firme en mal estado influye negativamente en la seguridad de un tramo, adquiriendo especial gravedad en alineaciones curvas o en condiciones meteorológicas adversas. No obstante, los conductores suelen aperebirse de estas circunstancias, adaptando la velocidad del vehículo a las condiciones del firme.

Estudio del estado del firme mediante tecnología láser



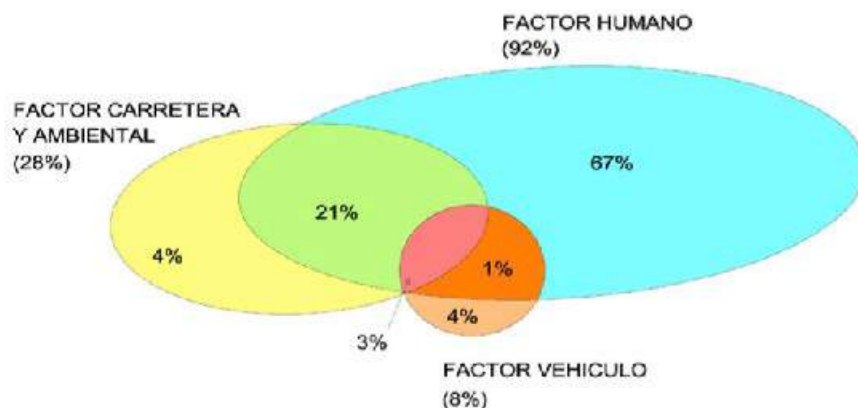
COMO MEJORAR LA SEGURIDAD EN LAS INFRAESTRUCTURAS VIARIAS. OBJETIVO: PROYECTAR “CARRETERAS TOLERANTES” Y SOSTENIBLES

Los accidentes que se producen en las carreteras suelen ser sucesos que ocurren de forma aleatoria pero su frecuencia está influenciada por muchos factores que se pueden agrupar bajo los epígrafes de carretera, usuario y vehículo.

Aunque sin duda sería interesante analizar en profundidad las distintas combinaciones de los tres factores que intervienen en los accidentes, nos vamos a centrar en aquellos accidentes en los que el factor carretera y ambiental interviene de alguna manera, es decir, aquellos casos en que por las características de diseño geométrico o del equipamiento de la carretera no se puedan contrarrestar los posibles errores o excesos de los usuarios. Este conjunto de accidentes se podría agrupar en los denominados “Accidentes en los que influye de forma determinante el factor carretera y ambiental”.

Uno de los escenarios más significativos para conseguir el reto que nos proponemos de una mejora sustancial de la seguridad vial y consecuentemente de una reducción significativa de este tipo de accidentes es, sin duda, durante la etapa de la concepción y desarrollo del proyecto de la carretera, que como hemos dicho anteriormente debe ser la “obra virtual”.

No debemos olvidar que antes de la puesta en servicio se deberán comprobar, exhaustivamente, todos aquellos parámetros que pueden incidir en su seguridad, realizando la denominada “prueba de carga” de la carretera, consiguiéndose, al



final de todo el proceso, desde la concepción y diseño de la carretera hasta su puesta en servicio, una explotación que proporcionará unos niveles “aceptables” de seguridad en la circulación, consiguiéndose finalmente una “carretera tolerante”.

Por otro lado, cabe señalar, que sistemáticamente se están implantando sistemas de control denominados “Auditorías de seguridad vial” que son, en esencia, procesos que pretenden garantizar que las carreteras, desde su primera fase de planeamiento, se diseñen con los criterios óptimos de seguridad para todos sus usuarios. Con esto, se persigue, principalmente los siguientes objetivos:

- Aumentar la seguridad de la circulación mediante un proyecto adecuado, minimizando así el riesgo de accidente.
- Reducir el coste total del proyecto a lo largo de su vida útil, pues puede resultar costoso corregir un diseño mal concebido.
- Analizar los parámetros de seguridad vial (chequeo de la red viaria) y proponer actuaciones preventivas en las carreteras existentes.

La idea de revisar los proyectos de las nuevas carreteras y de las mejoras de las existentes en cuanto a su seguridad vial, ha surgido hace solamente unos pocos años, aunque la filosofía de que prevenir es mejor que curar ha estado presente en nuestra sociedad desde tiempos ancestrales.

Tramo de curvas de la carretera N-320 en Casar de Talamanca, Guadalajara. Se han producido 10 accidentes graves en los últimos 3 años, con un resultado de 2 fallecidos y 12 heridos graves. Por tercer año consecutivo, se ha considerado como tramo de “alto riesgo”



AUDITORÍAS DE SEGURIDAD VIAL DURANTE LA REDACCIÓN DEL PROYECTO

La implantación de las auditorías de seguridad durante la elaboración de los proyectos representa sin duda grandes ventajas, como son la de aportar un asesoramiento experto, en temas de seguridad, a todo proyecto o mejora de carreteras, y una alta rentabilidad coste-beneficio, ya que serán mucho menores y menos costosas las necesidades de aplicación, en un futuro, de medidas de tratamiento de puntos con elevada accidentalidad.

Mediante las auditorías de seguridad vial se pretende garantizar que las carreteras, desde su primera fase de planeamiento, se diseñan con los criterios óptimos de seguridad para todos sus usuarios, verificando que se mantienen dichos criterios durante las fases de proyecto, construcción y puesta en servicio de la misma.

La auditoría se debería realizar por fases (y dinámica) previamente a la aprobación del proyecto, por un equipo de expertos en seguridad vial dependiente de la Administración titular de la carretera. En la etapa anterior a la puesta en servicio de la carretera, se deberá verificar que todas las observaciones contempladas durante las revisiones del proyecto han quedado reflejadas en la construcción de la carretera.

Esta “Prueba de carga” de la carretera antes de su puesta en servicio, consistirá en la realización de un recorrido exhaustivo del tramo, en ambas direcciones, comprobando trazados, márgenes de la carretera, instalación de los distintos elementos del equipamiento, señalización vertical y horizontal, defensas, etc. Los recorridos se deberán realizar tanto de día como de noche y si fuera posible, también con condiciones climatológicas adversas.

AUDITORIAS DE SEGURIDAD VIAL Y ACTUACIONES PREVENTIVAS EN LAS CARRETERAS EXISTENTES

La eliminación de factores de riesgo de accidente o de gravedad potencial, determinando las carencias de seguridad vial de las carreteras, así como conseguir la homogeneidad de la red existente atendiendo a la accidentalidad según distintos itinerarios es la finalidad de este tipo de actuaciones.

Previamente al paquete de actuaciones preventivas recomendadas, se deberán realizar recorridos periódicos, de toma de datos y chequeo de la red viaria, con el fin de recopilar y analizar la información sobre las condiciones de la vía y de su entorno.

En base a la propuesta de actuaciones preventivas, se debe hacer un seguimiento sistemático de los resultados, mejorando así el conocimiento de la eficacia de las medidas aportadas.

EL CONCEPTO DE LAS CARRETERAS TOLERANTES

Los principales objetivos que hay que procurar alcanzar cuando se planifica, proyecta, construye y mantiene un corredor viario de nueva planta o cuando se interviene, para dotarles de mayor capacidad o para reducir su accidentabilidad potencial, en corredores existentes. Lo que tenemos que pretender es asegurar la fiabilidad en el tiempo de recorrido: que es esto y no la hipotética y distorsionadora “velocidad de diseño” lo que está en juego. Pero está en juego también y, debe estarlo por encima de cualquier otro objetivo, el de la seguridad vial, el anhelo irrenunciable de que quien emprenda un viaje por carretera llegue a su destino sano y salvo. Si, además, llega pronto, mejor que mejor. Si, encima, puede alcanzar su destino en el tiempo programado, mejor que mejor. Y si también, puede llegar descansado por haber tenido un viaje confortable y no sujeto a “tensiones viarias” pues miel sobre hojuelas. Porque la muy deseable confortabilidad es un concepto que está muy relacionado también con la seguridad en la conducción. No es, por tanto, la velocidad como suele parecer y como aparece explícita en el “lenguaje de las carreteras”, el concepto esencial. Ni es el incremento en la capacidad asociada

Autopista alemana “tolerante” con una buena integración en el territorio



a un número de carriles, el que debe ser determinante. Porque todas las decisiones en la planificación, y proyecto de una carretera deben tener la seguridad vial como objetivo preeminente.

Y en tal sentido, queríamos aportar una denominación nueva con un significado profundo: el de “carreteras tolerantes”, concepto bien diferente, por cierto, al de “carreteras tolerables”.

El concepto de “carretera tolerante” está asociado al de tolerancia, pero aquí tiene un significado diferente al que estamos acostumbrados a asignarle en el ámbito social. La tolerancia siempre debe existir y siempre existe, de hecho, porque suele estar, o debería estar, recogida en las leyes o en todo caso en la interpretación que se puede hacer de ellas. De lo que hay que hablar es de “impunidad cero”: quien comete un delito debe pagar por ello, porque es esencial que se cumplan las leyes y aplicarlas con tolerancia. Pero la tolerancia no puede ser cero. La impunidad debe serlo.

En carreteras el concepto de tolerancia tiene matices significativos. Porque de lo que se trata es de que nuestras carreteras sean tolerantes a los errores humanos, que inevitablemente pueden cometer los usuarios. Todos cometemos errores. Y cuando los cometemos circulando por una “carretera tolerante” sucederá que las consecuencias de nuestros errores serán limitadas, y no tendrán un dramatismo desproporcionado con la causa que ha provocado el accidente, como sucede en las carreteras intolerantes. Se trata pues —es lo que procuramos hacer al proyectar puentes y estructuras— que los errores menores que se puedan cometer no tengan consecuencias mayores. Que los potenciales y dramáticos accidentes se hagan incidentes sin consecuencias prácticas. Y esto define las carreteras tolerantes que se caracterizan también por reducir las posibilidades de equivocaciones en la conducción.

Por todo ello, podemos definir las “carreteras tolerantes” como aquellas que reducen las posibilidades de errores en la conducción y que, en todo caso, minimizan las consecuencias de los errores que se hayan podido cometer. En consecuencia, los índices de accidentabilidad en “carreteras tolerantes” deben ser significativamente inferiores a los correspondientes en “carreteras intolerantes”, que son muchas de las tradicionales, o de las “carreteras tolerables” en las que nos vemos obligados a tolerar, al menos durante un tiempo, situaciones no deseables.

Por tanto, desde la perspectiva de la seguridad, tenemos que aspirar a planear, proyectar, construir y mantener “carreteras tolerantes” y a intervenir en carreteras existentes para transformarlas de “intolerantes” o “tolerables” en “tolerantes”.





La coordinación de la señalización informativa de las distintas Administraciones (Nacional, Autonómica y Local), “una asignatura pendiente”. Catálogo de Señales Informativas de 1963

Y ¿cómo son y cuáles son las “carreteras tolerantes”? Lo son, por ejemplo, las de doble calzada, en mucha mayor medida que las carreteras de calzada única. Es evidente que un despiste en la conducción en una autovía no tiene, como norma general, las consecuencias que puede tener en carreteras de calzada única. Es la mayor seguridad de las autovías lo que justifica, más que ningún otro argumento, su necesidad. Que lógicamente, debe estar asociada a los niveles de tráfico, aunque cada vez más la frontera del tráfico que justifica la doble calzada irá tendiendo hacia niveles más bajos. Por todo ello la denominación de “Autovías de alta capacidad” debería sustituirse por la de “Autovías de alta seguridad” o cuando menos deberíamos referirnos a “Corredores viarios con seguridad mejorada”.

Son también “carreteras tolerantes” las que tienen un trazado inteligente, en el que no hay cambios bruscos de geometría, ni zonas de visibilidad reducida. En las que los peraltes están bien trazados. En las que los pavimentos tienen las condiciones adecuadas de rodadura, tanto con lluvia como en tiempo seco. La carretera bien trazada conduce al coche y contribuye a una conducción eficiente y confortable.

MEDIDAS PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES

<div>RESPECTO A LA CARRETERA "TOLERANTE"</div> <div>Medidas de prevención de accidentes</div> <div>Medidas paliativas de la gravedad del accidente</div>	<div>LEGISLACIÓN</div> <div>Normativa reguladora de proyectos</div> <div>ORDENACIÓN</div> <div>Disminución de los puntos de conflicto</div> <div>TRAZADO</div> <div>Coherencia y homogeneidad</div> <div>OBSTÁCULOS</div> <div>Eliminación de obstáculos laterales</div> <div>BARRERAS</div> <div>Empleo de barreras de seguridad</div> <div>CONTENCIÓN</div> <div>Zonas laterales de contención de vehículos</div>
<div>RESPECTO AL VEHÍCULO</div>	<div>SEGURIDAD PASIVA</div> <div>Airbag, cinturón, barras laterales, ...</div> <div>FIABILIDAD</div> <div>Control de calidad, revisión periódica (ITV)</div> <div>SEGURIDAD ACTIVA</div> <div>ABS, dirección asistida, neumáticos</div>
<div>RESPECTO AL CONDUCTOR</div>	<div>EDUCACIÓN VIAL</div> <div>Concienciación social en sectores jóvenes</div> <div>TÉCNICA</div> <div>Mejora de la técnica de conducción</div> <div>SANCIONES</div> <div>Multas, retiradas del carnet, incluso cárcel</div>



Señal de advertencia de peligro por el paso de animales y posible avistamiento de OVNIS en una carretera australiana

Son carreteras tolerantes aquellas que están eficientemente señalizadas. Como lo son, aquellas en las que las singularidades en los trazados, incorporaciones, por ejemplo, están suficientemente alejadas entre ellas, están claramente señalizadas y los accesos y salidas están bien resueltos, de manera que el conductor no tenga que tomar decisiones precipitadas y no se le acumulen las decisiones que tiene que tomar. En fin, son carreteras tolerantes también aquellas que están integradas con naturalidad y elegancia en el territorio, con bordes cuidados y sin obstáculos innecesarios. En resumen, son “carreteras tolerantes” las que están bien proyectadas. Ni más, ni menos. Lo que significa, por otra parte, que podemos aspirar a tener “carreteras tolerantes” porque podemos aspirar a tener buenos proyectos. Porque un proyecto es, debe ser, por otra parte, la “obra virtual” y es en la etapa del proyecto en la que podemos simular el comportamiento de la carretera antes de que esta se construya. Y es en esta etapa cuando podemos poner remedio a las imperfecciones de la carretera, para no tener que descubrir “errores” cuando ésta se encuentra ya en servicio, porque se paga un alto precio por ello.

CONCLUSIÓN

Aproximadamente uno de cada tres fallecidos en accidentes de tráfico en la red de carreteras española es a consecuencia de una salida de vía. Este dato es muy elevado, pero es, sobre todo difícil de reducir, porque estas cifras de siniestralidad no se localizan en puntos concretos de la red, sino que se distribuyen, en gran número, a lo largo de la misma.

La salida de la vía puede ser debida a defectos de la carretera, fallos del vehículo, o errores del conductor, o a una combinación de ellos. Sabemos que la obligación del conductor es transitar por la zona destinada a la circulación, es la que tiene ciertas garantías de seguridad. Pero también sabemos que, en ocasiones, por pérdida de control del vehículo, se sale de la vía, y dependiendo del estado y composición de los márgenes, el siniestro puede ser “grave” o “menos grave”. Habrá que seguir trabajando desde todos los campos posibles (educación, vigilancia, vehículos, etc.) y lo que más concierne a nuestra profesión, las infraestructuras viarias para rebajar el nivel de gravedad de este tipo de accidentes.

La seguridad es el objetivo primordial que debemos perseguir cuando planeamos, proyectamos, construimos y mantenemos nuevos corredores viarios o cuando adaptamos o mejoramos otros existentes. Y el concepto de “carreteras tolerantes”, expresión nueva, pero con un contenido bien conocido por todos, debe contribuir a la alta finalidad de hacer nuestras carreteras más seguras, y, para ello, a proyectarlas acertadamente.

SOBRE EL INCREMENTO DE LA SEGURIDAD VIAL

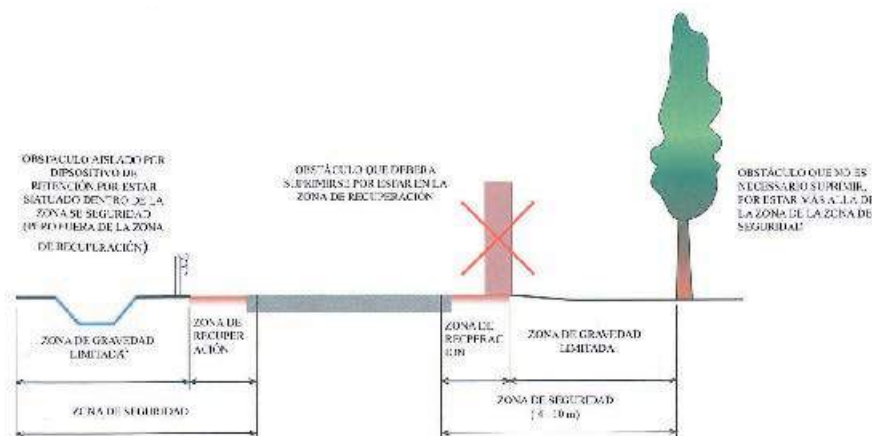
LAS MÁRGENES DE LA CARRETERA. LA “ZONA DESPEJADA”

Las márgenes de nuestras carreteras tienen una gran influencia sobre la accidentalidad. Por una parte, hay que considerar una afección visual del entorno, de la que se deriva un tipo de actitud del usuario y, por tanto, una forma de conducción. En cuanto a las márgenes como zona de influencia de vehículos que salen erráticamente de la vía, los técnicos tenemos una importante labor en el sentido de reducir al máximo las consecuencias de una salida de vía mediante el diseño de márgenes seguros.

Estas márgenes seguras de la carretera, “zona despejada”, podrían describirse como el espacio lateral adosado a la plataforma de la carretera que se define tan amplio, plano, redondeado y libre de obstáculos como sea necesario, para poder permitir que los vehículos fuera de control puedan recuperar la trayectoria, sin sufrir un accidente importante ni provocarlo.

Entre los obstáculos o zonas peligrosas que se deberían suprimir en la “zona despejada” se encuentran: taludes de fuerte inclinación, aristas sin redondear, cunetas profundas, impostas de obras de drenaje, árboles de más de 15 centímetros de diámetro, postes de carteles de señalización, etc. Cada sección transversal deberá ser analizada disponiendo del máximo resguardo posible.

La anchura mínima de la denominada “zona despejada” se deberá determinar en función, principalmente, de la accidentalidad del terreno, velocidad de proyecto, IMD y tipo de accidente considerado.



El proyecto de la carretera deberá permitir minimizar el uso de las barreras de seguridad tanto como sea posible. Las barreras deben considerarse siempre como la última opción. Es mucho más seguro ampliar las bermas, suavizar la pendiente de los taludes o, cuando se trate de cualquier obstáculo, trasladarlo.

A continuación, se describen algunos criterios a tener en cuenta en el diseño geométrico de la llamada “zona despejada” y de los distintos elementos que en ella se ubican:

- **SOBRE TALUDES.** Para que los taludes laterales no sean considerados como obstáculos, deberán tener una inclinación muy suave a ambos lados de las bermas.
- **SOBRE LOS ELEMENTOS DEL DRENAJE.** Los extremos de las obras de drenaje transversal que se sitúen dentro de la “zona despejada”, deberán adaptarse al talud lateral, sin que ninguna parte (arquetas, impostas, etc.) sobresalga de la superficie del talud.
Se evitará proyectar cunetas reducidas o triangulares y trapeciales, diseñándose preferentemente las rebasables denominadas “de seguridad”.
- **SOBRE POSTES, BÁCULOS DE ALUMBRADO Y ÁRBOLES.** En la “zona despejada” no deben existir sin una protección adecuada, árboles o postes, de más de 15 centímetros de diámetro, ni carteles de señalización o báculos de alumbrado.

PROPUESTAS PARA EVITAR LOS CHOQUES FRONTALES EN CARRETERAS DE CALZADA ÚNICA Y DOBLE SENTIDO DE CIRCULACIÓN

En el mundo, para lograr aumentar la seguridad vial en las carreteras, la implantación de una política sancionadora no termina de lograr un comportamiento seguro por parte de los conductores. Los choques frontales, relacionados con una insuficiente oferta de tramos de adelantamiento entre vehículos que circulan en sentidos opuestos, por carreteras de calzada única, representan sólo un 20% de los siniestros con víctimas, pero aproximadamente un 40% de los siniestros con víctimas mortales.

Para incrementar la seguridad vial de dichas carreteras, se están implantando una serie de medidas que enfatizan la separación entre los tráficos que circulan en sentidos opuestos mediante dispositivos de advertencia y de disuasión, para evitar que se rebase la delimitación que establecen las marcas viales.

En primer lugar, se deben analizar e identificar los tramos con concentración de accidentes, principalmente, como consecuencia de choques frontales y fronto-laterales entre vehículos.



Posteriormente, se definirían las posibles soluciones preventivas/ correctivas en función de las características de los tramos de carretera que se estudian:

- Implantación de “separadores de flujos de tráfico” en carreteras de calzada única.
- Necesidad de disponer carriles adicionales para el adelantamiento en uno de los dos sentidos de circulación, manteniendo sólo uno para el sentido contrario (2+1 carriles), en carreteras de calzada única y la implantación de “dispositivos de separación/contención de ambos sentidos”.

Representa también una innovación en los procedimientos de gestión de la red viaria en tiempos de crisis, al dar respuesta a un problema específico allí donde se manifiesta de forma más notable, optimizando así los recursos disponibles.

Estas medidas deben llevar aparejadas un análisis de la rentabilidad con la determinación de la ratio beneficio- coste y seguimiento de la evolución de la accidentalidad en los tramos de carretera donde se ha propuesto actuar.

OBJETIVOS

Organizaciones internacionales como la Unión Europea, la OCDE o la OMS han considerado los accidentes de tráfico y sus consecuencias como una problemática de salud generadora de un gran impacto económico, y han venido impulsando políticas orientadas a la mejora de la seguridad vial.

En ese sentido, Naciones Unidas y sus estados miembros, conscientes del desafío de la mejora de la seguridad viaria, tienen como objetivo principal la reducción del número de víctimas de accidentes de tráfico a escala mundial. En dicho contexto

internacional, las directrices comunes de la mayoría de organismos se centran en la reducción de víctimas mortales y heridos graves, así como en actuaciones prioritarias para colectivos vulnerables. Los objetivos establecidos para este fin son:

- Mejora de la educación y formación de los usuarios de la carretera
- Mayor cumplimiento de las normas de circulación
- Mayor seguridad en las infraestructuras viarias
- Vehículos más seguros
- Promoción del uso de nuevas tecnologías aplicadas a la seguridad vial.

En la línea de estas recomendaciones, en España se está realizando una política de seguridad vial centrada en la “Visión 0”, entendida como un conjunto de medidas encaminadas a la reducción de la posibilidad de accidentes. Dichas políticas suponen la necesidad de implicar a todos los agentes sociales responsables para llevar a cabo actuaciones integrales de carácter multidisciplinar.

El objetivo prioritario fijado para el periodo 2014-2020, alineado con la meta que ha establecido la Unión Europea para el mismo periodo, es conseguir en el año 2020 una reducción del 50% en el número de víctimas mortales en las carreteras respecto al año 2010. El horizonte 2020 es una primera meta en el reto de conseguir una “Visión 0” en el año 2050.

LA EXPERIENCIA EN ESPAÑA

CARRETERA N-II ENTRE MONTGAT Y MATARÓ, BARCELONA

En la carretera N-II entre Barcelona y Mataró, se alcanzan niveles de IMD muy elevados al discurrir la carretera por zonas muy pobladas y ser el único itinerario longitudinal a la comarca libre de peaje. En ese sentido se han acometido actuaciones de implantación de separadores de flujo consistentes en barreras de hormigón, como vemos en la imagen adjunta correspondiente a la zona de Cabrera de Mar.

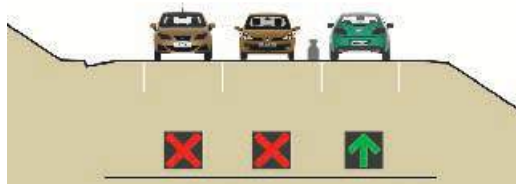
La intervención en la N-II se realizó el año 2011 y se ha reducido la accidentalidad global en este tramo un 45%.

CARRETERA C-55 EN MANRESA, BARCELONA

Una de las actuaciones en el ámbito de las propuestas de implantación de separadores de flujos, ha sido la conversión a plataforma con carril adicional 2+1 de tramos de la carretera C-55 de acceso a Manresa desde el área de Barcelona.

Carretera N-II a su paso por Cabrera de Mar, Barcelona

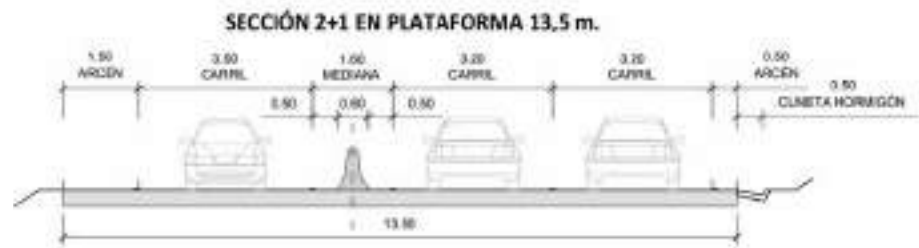




La carretera C-55 va paralela a la autopista C-16, de peaje, y supone el único acceso a Manresa libre de peaje desde el sur de la ciudad, con IMD superiores a 20.000 vehículos/día. Los niveles de accidentalidad a lo largo del recorrido de la carretera son muy elevados, y ha comportado la necesidad de realizar importantes medidas de seguridad vial.

La remodelación de la carretera se ha realizado con el criterio de no ampliar la plataforma (excepto en algunos sitios puntuales) e incluye algunos tramos con configuración con carril adicional 2+1, correspondientes a tramos donde ya existían carriles de adelantamiento en uno de los sentidos.

La sección correspondiente a los tramos carril adicional 2+1 es la siguiente:



CARRETERA C-16 ENTRE BERGA Y BAGÀ, BARCELONA

También encontramos otros casos donde la propuesta de separador de flujos se combina con la necesidad de disponer de tramos de adelantamiento con una profunda estacionalidad. En el tramo de 21 kilómetros entre Berga y Bagà de la carretera C-16, en el acceso al Pirineo, finaliza la doble calzada existente entre Barcelona y Berga. A partir de Berga, las condiciones topográficas hacen muy costosa la conversión a autovía de dicho tramo. Las intensidades de tráfico se ven muy condicionadas por los recorridos de fin de semana, especialmente en época invernal, para acceder a las zonas de esquí del Pirineo.

Para combinar la necesidad de incrementar la separación de flujos de tráfico, y a la vez conseguir una mayor capacidad de la vía en los momentos de mayor demanda para cada uno de los sentidos, se proyecta la implantación de una barrera móvil, que es capaz en unas dos horas de revertir el sentido de la semicalzada con dos carriles de circulación, como se muestra en los siguientes esquemas: en Ejemplo de implantación de un tercer carril reversible con barrera móvil en la carretera C-16, tramo Berga-Bagà (Barcelona). Actuación en 21 kilómetros.

(pág. izquierda)

Imágenes del resultado final de la actuación realizada en la C-55

Imágenes del estudio de implantación del 2+1 con barrera móvil, en la C-16

LAS EXPERIENCIAS INTERNACIONALES

Entre las medidas adoptadas para la mejora de la seguridad vial en las carreteras de doble sentido de circulación destaca la transformación de la plataforma desde la configuración con carril adicional 1+1 a la configuración 2+1, estableciendo tramos de doble carril que permitan el adelantamiento con mayor seguridad al no invadir el sentido contrario de la vía.

En las últimas décadas se han venido estableciendo configuraciones con carril adicional 2+1 en una notable cantidad de tramos de red viaria de distintos países, especialmente en el norte de Europa. En cada uno de esos países, las características de las plataformas con carril adicional 2+1 responden a diversas casuísticas, desde transformaciones de plataformas existentes a realizaciones de nueva construcción, y con gran variedad de dimensiones y elementos de separación de los sentidos de circulación. A continuación, se describe una muestra de diversas experiencias internacionales, en los procesos de transformación de carreteras convencionales en plataformas con carril adicional 2+1. Dichas experiencias han servido de referencia a la hora de establecer propuestas de actuación en la red de carreteras de España.

SUECIA Y DINAMARCA

En Suecia se construyeron gran cantidad de carreteras de 13 metros de anchura de plataforma entre los años 1955 y 1980. La sección tipo disponía dos carriles de 3,5 metros de ancho y arceles de 3 metros. Se consideraba en aquella época que se debía contar con un arcén muy generoso para circulación de emergencia o estacionamiento en caso de avería, dada la supuesta poca fiabilidad de los automóviles. Esa situación de excesiva sección generó un exceso de velocidad generalizado en la red viaria convencional que provocaba adelantamientos temerarios y un descenso en los niveles de seguridad.

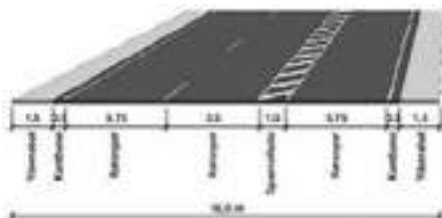
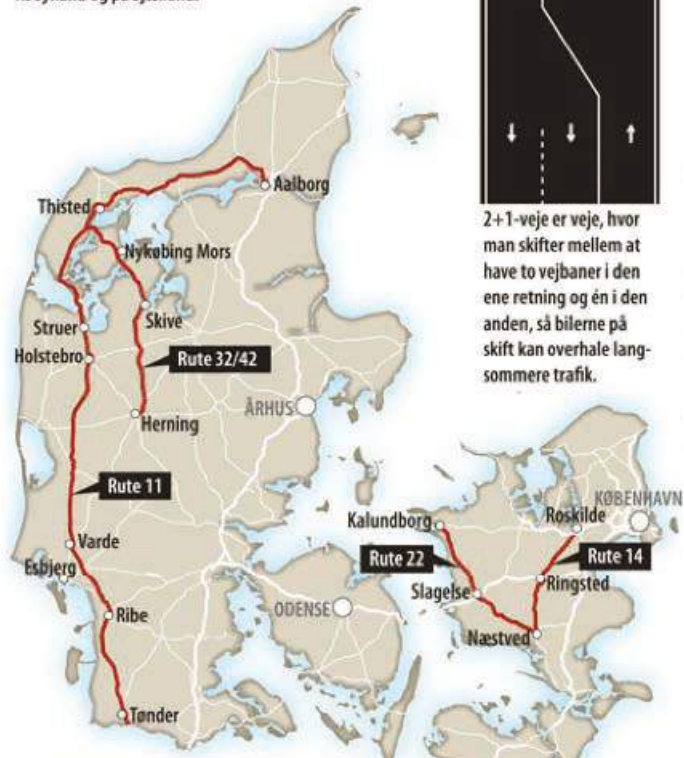
Con el objetivo de incrementar la seguridad viaria, a partir de los años 90 se consideró la posibilidad de transformar dichas carreteras de 13 metros de anchura por carreteras con carril adicional 2+1. Se transformaba la vía de un carril por sentido a una con dos carriles en un sentido y uno en el otro, alternándose el lado con doble carril cada pocos kilómetros, separados por una barrera de cables de acero.

Esta transformación dio como resultado un aumento de la capacidad y de los niveles de seguridad de la red viaria convencional, de tal forma que se diseñó un programa de remodelación de carreteras para su conversión en vías 2+1, poniendo en servicio más de 1.000 kilómetros en 2004.



2+1 VEJE

Venstres trafikordfører Kristian Pihl Lorentzen foreslår, at der etableres 2+1 veje på disse fire strækninger i henholdsvis Jylland og på Sjælland.



En Dinamarca se ha seguido el ejemplo de Suecia, transformando gran parte de su red de carreteras convencionales de 13 metros de ancho de plataforma en carreteras 2+1. En el caso danés, se amplió la medida en algunos casos a carreteras 1+1 con un separador central muy generoso, con el objetivo de incrementar la seguridad en aquellos tramos donde no era necesario aumentar la capacidad de la vía.

Además del plan de transformación de vías existentes a carreteras con carril adicional 2+1, plan que se puede ver en el mapa superior, se han proyectado nuevas carreteras con dicha disposición de carriles, en este caso con una plataforma de 16 metros de anchura total, con la sección tipo según el esquema situado bajo estas líneas, con longitudes de adelantamiento superiores a un kilómetro.

FRANCIA

En Francia, durante la década de los 80, se construyeron una serie de carreteras denominadas de tipo L/2, o de ajuste de fase transversal, es decir, carreteras con parámetros de autopista (denominadas tipo L) pero con una única calzada, preparada para su duplicación. En su construcción, en la mayoría de los casos se preveían las estructuras de cruce para la futura duplicación, así como gran parte de la plataforma del movimiento de tierras.

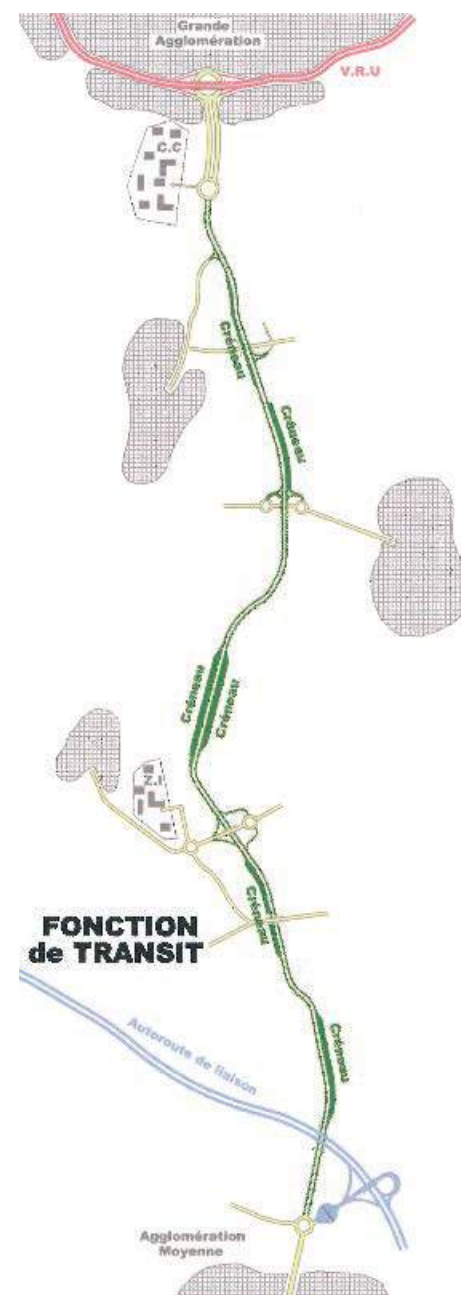
Esa situación dio como resultado un conjunto de problemas: en primer lugar de tipo económico, puesto que el coste resultó muy superior a la mitad del coste de autovía, y en segundo lugar de insuficiencia de niveles de seguridad, ya que el usuario adoptó comportamientos similares a la conducción en autopista, debido a las elevadas prestaciones del trazado, pero sin tener en cuenta que las características de la vía no lo permitían, especialmente desde el punto de vista de la inexistencia de elementos de separación de los flujos de circulación.

En ese escenario, las instrucciones de carreteras redactadas con posterioridad eliminan la opción de realizar este tipo de carreteras desdobladas en dos fases, básicamente por los problemas de seguridad vial detectados, y plantean nuevas soluciones para los casos donde no se dan las condiciones para proyectar una autovía. Así, para las vías rápidas existentes se proyectan actuaciones de reforma destinadas a la mejora de las condiciones de seguridad, consistentes en la separación de los sentidos de circulación y la sección 1+1, mantenimiento de los enlaces a distinto nivel, y generación de tramos 2+2 en un porcentaje del recorrido entre el 20% y el 25% para establecer las zonas de adelantamiento.

Además de dicha transformación en la concepción de las vías rápidas interurbanas (VRI), se desarrolla el concepto de carretera 2x1 para vías de nueva construcción. La sección consta de un carril por sentido, con presencia en todo momento de separador de flujos, y que disponen de tramos específicos 2+2 para adelantamiento, o en zonas de pendiente para vehículos lentos.

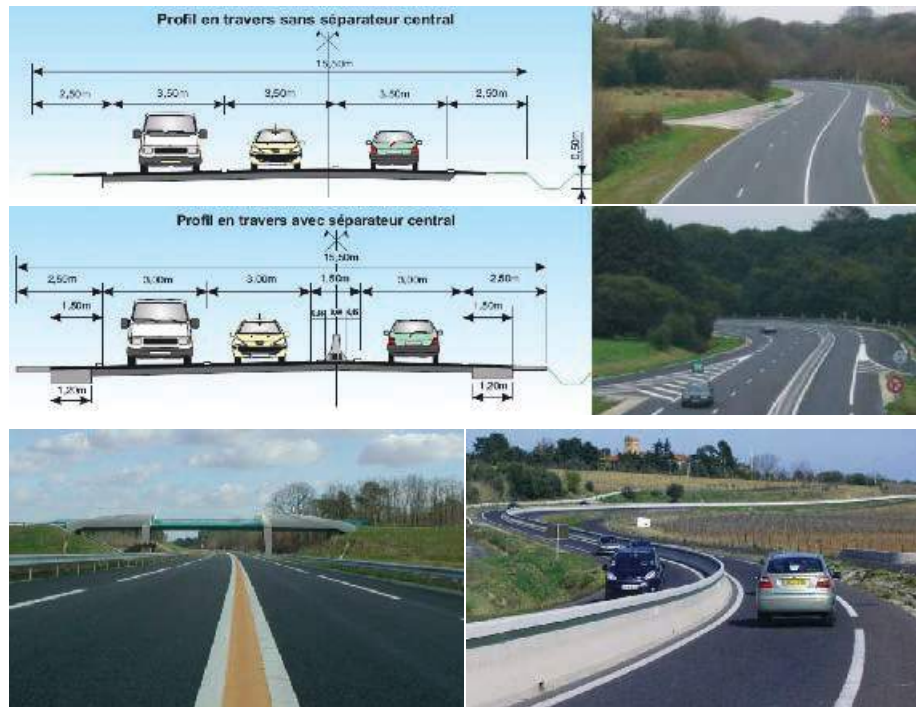
En general son disposiciones parecidas a las de las VRI, pero con algunas diferencias, como el coste, sensiblemente inferior al no haberse planteado como una fase intermedia de una autovía, la velocidad de proyecto es inferior (90 km/h), y la posibilidad de admitir intersecciones.

Este tipo de carreteras se plantea como corredores de distribución de tráfico entre los grandes ejes de comunicación de la red de autopistas (que en Francia dispone de una densidad de accesos inferior a la que tiene la red española) y las aglomeraciones urbanas, como se muestra en el esquema adjunto.





FUNCTION de DISTRIBUTION



Secciones transversales antes y después de la implantación de separadores de flujos a tramos 2+1 en Francia (arriba)

Ejemplos de actuación de Francia en implantación de mediana pintada en 2+1 y con barrera central en 1+1 (abajo)

Además, en estos tramos se producen velocidades excesivas de circulación y tasas de accidentalidad elevadas, producidas por la ambigüedad de la percepción del trazado, de prestaciones demasiado elevadas al ser previsión de autopista por ser una carretera bidireccional. Más de 800 kilómetros son programados para ser convertidos en plataforma con carril adicional 2+1, y también se introdujeron elementos de separación de flujos en carreteras con carril adicional 2+1 existentes y que presentaban problemas de accidentalidad por choque frontal.

En algunos casos se ha optado por el establecimiento de una mediana pintada como elemento de separación, tal como se muestra a la imagen siguiente de la RN60 a la variante de Bellegarde, o barras en disposición 1+1, como a la CD66

En los casos de la implantación de las medianas pintadas, la reducción de la accidentalidad conseguida ha sido del 30%.

INGLATERRA E IRLANDA

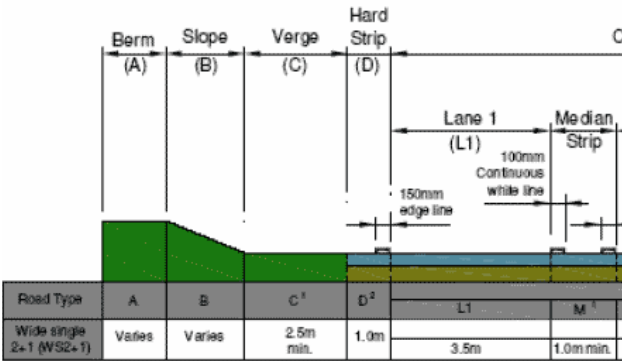
Después de unas primeras experiencias carreteras con carril adicional 2+1 en Escocia entre 1993 y 1995, la Dirección General de Carreteras llevó a término la investigación entre 1995 y 1997 para explorar el potencial de incrementar el uso de las carreteras de una sola calzada en la red de carreteras de Inglaterra. Se revisaron los estudios anteriores realizados sobre el funcionamiento y la seguridad de las vías de doble sentido, y se investigó la experiencia europea en 2+1, cosa que se adoptó en Gran Bretaña como WS2+1. El estudio concluyó que las plataformas WS2 +1 tenían el potencial de proporcionar beneficios en términos de seguridad y de funcionamiento, pero como no había ninguna experiencia de su uso en Reino Unido, se recomendaba su evaluación antes de su inclusión como una disposición estándar en el Manual de Diseño de carreteras y puentes (DMRB). Como resultado, los dos esquemas de WS2 + 1 fueron implementados y monitorizados. Los esquemas son la A68 en Soutra Hill en Escocia, abrió en febrero de 2002 y la A303 al bypass de Ilminster en Inglaterra, que abrió en junio de 2003. Los resultados de la evaluación concluyeron en una reducción del 90% de la accidentalidad mortal en los tramos implementados y un 67% de reducción global de los accidentes, cosa que ha ido propiciando la apertura de más tramos con esta configuración.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de las carreteras con disposición 2+1 en Gran Bretaña, que ha optado más por la banda pintada en la mediana con reflectores.

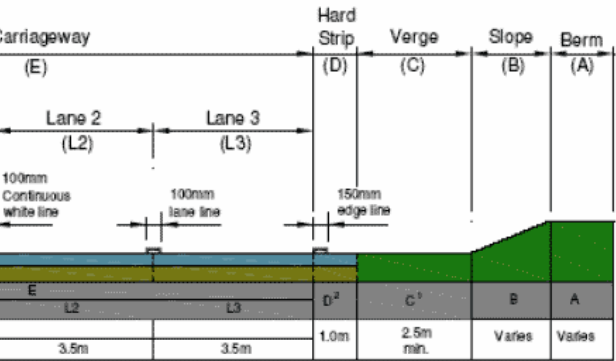
A finales del 2007 en Irlanda se abrió al tráfico la primera carretera con carril adicional 2+1, la N20, formando parte de un programa piloto lanzado el 2002 para implementar carreteras 2+1. En el caso irlandés, el tercer carril alternaba a cada lado y está separado del tráfico contrario mediante una mediana de 2 metros pavimentada con una barrera de cables. L'Ireland's National Development Plan (plan de infraestructura a 10 años vista irlandés) proponía que hasta 850 kilómetros fuesen mejoradas a carreteras de tipología con carril adicional 2+1 si la prueba piloto era exitosa, cifra que suponía aproximadamente el 30% de las carreteras existentes en aquel momento. Después de un año en servicio, en la N20 se habían eliminado los accidentes frontales y reducido los accidentes por adelantamiento. En función de la tipología de los accidentes: el rango de accidentes fatales o graves se había reducido entre un 50 y un 60%, los accidentes por adelantamiento entre un 40 y un 70% y los accidentes por salida de la carretera entre un 12 y un 67%.

Las políticas en términos de carreteras han evolucionado a secciones tipo 2+2, que proporcionan la capacidad y seguridad adicionales, pero las carreteras 2+1 para proyectos de condicionamiento de carreteras y niveles de circulación más bajos. La

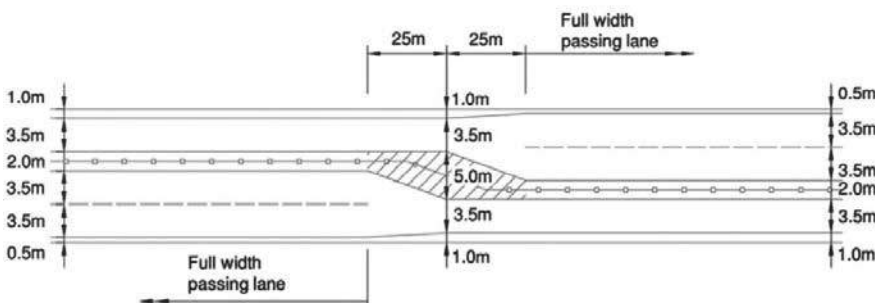
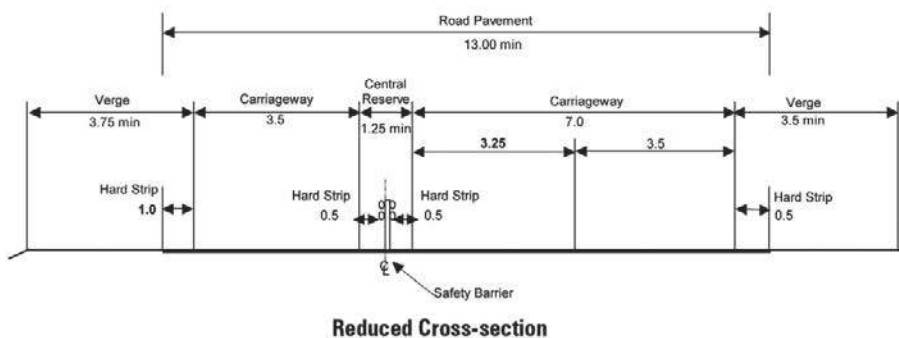
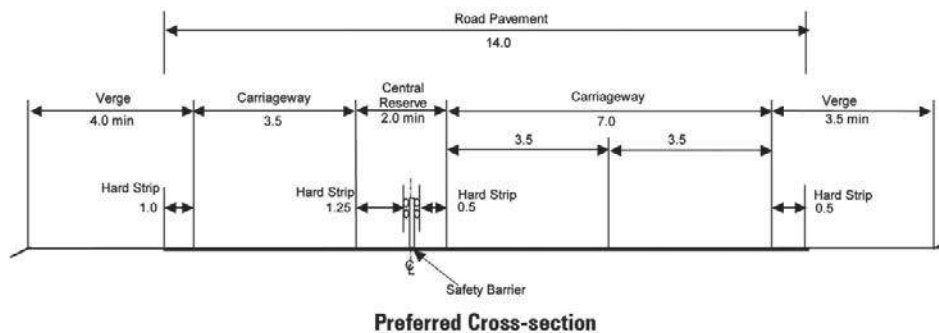
Esquema de la sección transversal de las conversiones en plataforma WS2+1 en Gran Bretaña



Ejemplos de actuación en Reino Unido de conversión a plataforma 2+1. Arriba la A76 en Mennock, y abajo la aproximación al puente de Clackmananshire y detalle del cambio de disposición de zona adelantamiento de la A67 a Mennock



National Roads Authority ha identificado los siguientes beneficios de las carreteras 2+1 y 2+2 sobre carreteras de carriles únicos: mismos beneficios de la segregación de una carretera con separación de dos carriles en los dos sentidos, reducción de la severidad en todos los accidentes, reducción en el número de colisiones frontales y reducción de la frustración del conductor ya que se le ofrece la oportunidad de avanzar, entre otras.



Secciones de tipo plataforma y esquema en planta de un cambio de disposición de adelantamiento en una carretera tipo 2+1

ALEMANIA Y HOLANDA

Durante un tiempo se ejecutaron en Alemania, en especial en la antigua RDA, carreteras con arcenes o carriles de gran anchura. En el caso de los arcenes se destinaban a circulación de vehículos agrícolas, de servicios de emergencia o incluso de vehículos lentos. Los carriles de ancho generoso permitían el adelantamiento incluso dentro del propio carril.

Esta disposición de las condiciones de circulación dio como resultado una disminución notable de los niveles de seguridad, y se planteó la reforma de gran parte de dichas carreteras a una configuración de vías con carril adicional 2+1 al estilo de las realizadas en los países nórdicos.

En ese sentido, un tercio de las carreteras 2+1 alemanas responden a la conversión de carreteras con arcenes y carriles anchos, y a partir de dichas experiencias se planearon nuevas carreteras con dicha disposición, para itinerarios que precisaran de una capacidad elevada sin llegar a requerir secciones de autopista. A diferencia con las conversiones de carreteras existentes a 2+1 realizadas en Suecia, en Alemania se opta por una separación de sentidos de circulación mediante pintura en la mediana, debido a que no se permite la utilización de la barrera de cables de acero.

En el caso de Holanda, partiendo de las experiencias de conversión de carreteras existentes a plataformas con carril adicional 2+1, se han venido realizando también proyectos de carreteras de nueva construcción con dicha disposición. A diferencia con Suecia o Alemania, en Holanda se dispone una barrera de hormigón como elemento de separación de sentidos de circulación.



Ejemplos de carreteras con carril adicional 2+1 de Holanda (arriba) y Alemania (abajo)



PORTUGAL

En Portugal encontramos diversos tramos con la disposición de carril adicional 2+1, adoptando como separador de sentidos de circulación la pintura de doble línea continua, reforzada con elementos verticales de balizamiento en las carreteras nacionales IP-2, IP-3 e IP-4.

CONCLUSIÓN

La reducción de la accidentalidad en la red viaria es producto de varios factores, como la mejora de las prestaciones de la red, las campañas de sensibilización, las medidas sancionadoras, etc. y ha experimentado un notable progreso en los últimos años. En este sentido, las medidas que se están implantando en distintos países, enfatizando la separación de los dos sentidos del tráfico, están contribuyendo significativamente a esta reducción global de la accidentalidad.

Estas medidas que se están adoptando dentro de los distintos programas de seguridad vial, forman parte del conjunto global de actuaciones encaminadas a la mencionada reducción de la accidentalidad, propuestas globales que contribuyen de forma sinérgica a la consecución del objetivo establecido en los distintos Planes Estratégicos de Seguridad Vial o en la “Visión 0” a más largo plazo.

LA SEGURIDAD DE LOS TÚNELES DE CARRETERA

En numerosos foros internacionales en los que a lo largo de los últimos años se han debatido las condiciones de seguridad de los túneles, se ha puesto de manifiesto que los tramos en túnel de una carretera ofrecen menos siniestralidad que los de cielo abierto.

En concreto, de acuerdo con las últimas estadísticas europeas, se estiman las siguientes probabilidades:

- 1 accidente por cada 1,1 millones de vehículos por kilómetro, en carreteras principales
- 1 accidente por cada 3,0 millones de vehículos por kilómetro, en túneles bidireccionales
- 1 accidente por cada 6,0 millones de vehículos por kilómetro en túneles unidireccionales.

De acuerdo con estos datos se puede afirmar que un túnel de carretera es del orden de seis veces más seguro que un tramo de carretera a cielo abierto. Esta afirmación es cierta a largo plazo; pero el hecho de que en 1999 y 2001 se produjeron 62 víctimas mortales en los incendios de los túneles del Mont Blanc, Tauern y San Gotardo, que representan más de la mitad de las víctimas mortales habidas en túneles desde 1950, ha hecho que la sociedad sufriera un fuerte impacto y se cuestionase la seguridad en los túneles.



Situación en la que quedó el túnel de San Gotardo después del incendio de 2001

La posibilidad de que en un túnel se produzcan accidentes con un elevado número de víctimas radica, básicamente, en las consecuencias que se pueden derivar principalmente, del incendio de un vehículo en el interior de un túnel.

Estas consecuencias se ven magnificadas por el propio túnel que, por un lado, produce un efecto horno que hace mucho más rápida la elevación de temperatura tras el incendio y, por otro, debido al elevado volumen de humos generado en el incendio, que pueden afectar muy negativamente a los usuarios implicados en el incendio.

EL CASO DE LOS ACCIDENTES DE MONT BLANC Y TAUERN

Como en la mayor parte de los accidentes con un número de víctimas elevado, en los dos incendios del Mont Blanc y Tauern no debería hablarse de una única causa; ya que estos sucesos fueron posibles por que se concatenaron varias circunstancias favorables.

En cualquier caso, ambos incendios se iniciaron con la intervención de un camión que, en ambos casos, transportaba materias susceptibles de una combustión rápida: margarina y harina, en un caso, y botes de pintura, en otro. Esto hizo que la potencia calorífica liberada en el Túnel del Mont Blanc tuviera un máximo comprendido entre 75 y 100 MW; mientras que la máxima potencia liberada en el incendio del Túnel de Tauern se evaluó en 50 MW.

LAS CONSECUENCIAS DE LOS INCENDIOS

El incendio del túnel del Mont Blanc afectó seriamente a un tramo del túnel de unos 900 metros de longitud. Aunque, en varios puntos, el revestimiento y sostenimiento quedaron seriamente dañados por el fuego y el terreno natural quedó al descubierto; no se produjeron problemas apreciables de estabilidad. Por otro lado, la losa de la calzada resultó seriamente dañada por el fuego.

A raíz del accidente se efectuó una importante remodelación en las instalaciones del túnel, poniendo un especial énfasis en mejorar la ventilación, señalización y las comunicaciones.

El Túnel de Tauern, tras el incendio, tuvo que ser reparado en un tramo de unos 1.000 metros; básicamente la reparación consistió en reponer el falso techo, en restaurar la calzada y sustituir las trampillas de aspiración de humos.



LOS CRITERIOS A SEGUIR EN LA FASE DE PROYECTO

Como criterio general se admite que un túnel debe mantener el grado de seguridad vial de la carretera de que forma parte; lo cual, desde el punto de vista de los conductores, supone mantener niveles similares respecto a los siguientes aspectos:

- Facilidad en la conducción
- Sensación de seguridad
- Prevención de situaciones peligrosas.

La consecución de los niveles adecuados de seguridad en estos tres aspectos está muy condicionada por las circunstancias que se den durante la explotación del túnel; pero hay que tener presente que, a su vez, muchas de estas circunstancias están totalmente condicionadas por las soluciones adoptadas en la fase de proyecto.

Por otro lado, hay que considerar que, tras los accidentes ocurridos en los túneles del Mont Blanc y Tauren, se han revisado muchos de los criterios clásicos que definían la seguridad en los túneles de carretera.

A continuación, se presentan algunos criterios referentes a los aspectos más relevantes en la seguridad de los túneles de carretera que deberían haber tenido en cuenta al redactar al proyecto de construcción.

Proyecto de túnel submarino bajo Los Fiordos,
Noruega

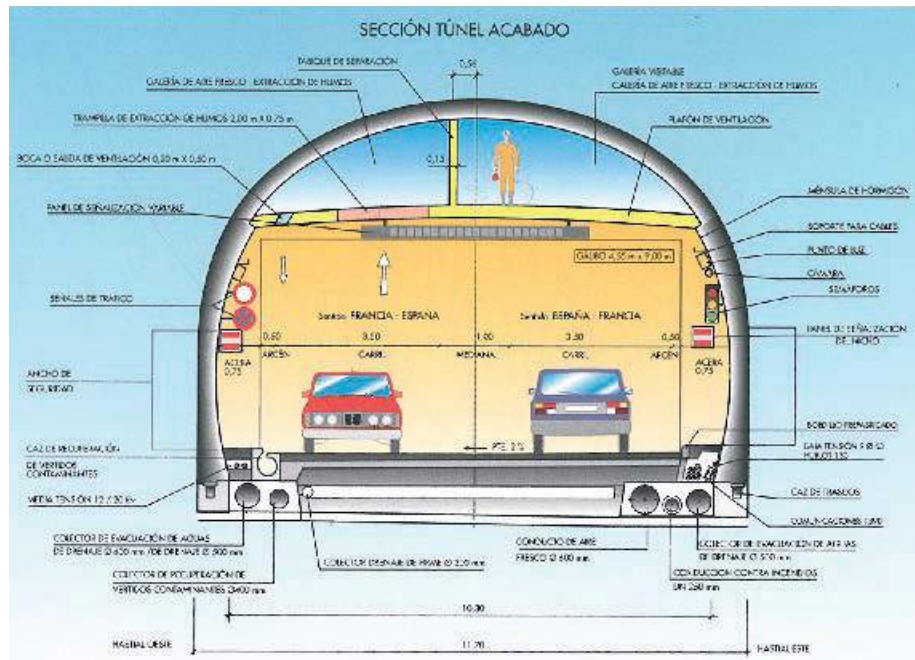
En mayo de 2006 entro en vigor, el Real Decreto 635/2006, “sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado”, como consecuencia de la transposición de la Directiva 2004/54/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre “requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras”.

Esta Directiva tiene por objeto garantizar un nivel mínimo de seguridad a los usuarios de la carretera en los túneles, mediante la prevención de situaciones críticas que puedan poner en peligro la vida humana, el medio ambiente y las infraestructuras de los túneles.

Dicho Real Decreto enumera y analiza aquellas medidas de seguridad que han de tenerse en cuenta para que los túneles cumplan con los requisitos mínimos de seguridad, siendo esos los siguientes:

- Longitud de túnel
- Número de tubos
- Número de carriles
- Geometría de la sección transversal
- Planta y alzado (especialmente la pendiente)
- Tipo de construcción
- Tráfico unidireccional o bidireccional
- Volumen de tráfico por tubo (incluida su distribución temporal)
- Riesgo de congestión (diaria o de temporada)
- Tiempo de acceso de los servicios de emergencia
- Presencia y porcentaje de vehículos pesados
- Presencia, porcentaje y tipo de tráfico de mercancías peligrosas
- Características de las vías de acceso
- Velocidad máxima autorizada
- Medio geográfico y climatología
- Túnel con características especiales.

Cuando un túnel tenga características especiales con relación a los parámetros anteriormente descritos, deberá llevarse a cabo un Análisis de Riesgo para establecer si son necesarias medidas adicionales de seguridad o equipamiento complementario para garantizar un adecuado nivel de seguridad del túnel. Dicho Análisis de riesgo tomará en consideración los posibles accidentes que puedan afectar claramente a la seguridad de los usuarios del túnel, así como la naturaleza y magnitud de sus posibles consecuencias.



Sección tipo del túnel de Somport, sección útil de 64 m². Facilita la conexión entre España y Francia a través del Pirineo Central, itinerario Europeo E-0). Tiene una longitud de 8.608 metros, 5.759 metros en España y 2.849 metros en Francia. 2003

Túnel de Vielha, situado en el Pirineo de Lleida de acceso al Valle de Arán, carretera N-230. Longitud 5.230 metros. Inaugurado en diciembre de 2007

EL TRAZADO DE LOS TÚNELES DE CARRETERAS

LA TRAZADO EN PLANTA

Se debería respetar una curvatura mínima de 500-600 metros. Los espacios laterales deben permitir la visibilidad en las curvas para evitar alcances.

En los túneles urbanos conviene dimensionar la obra para velocidades de referencia próximas a la velocidad real en régimen fluido y no congestionado.

LA TRAZADO EN ALZADO

Debido a su influencia sobre la velocidad, los perfiles longitudinales descendentes causan más accidentes, particularmente en los casos con volumen de tráfico elevados.

LA SECCIÓN TRANSVERSAL

Las reducciones de sección transversal son peligrosas y favorecen la accidentalidad.

Se debe prestar especial atención a que, si la anchura de la calzada y/o la de los laterales a ésta en el túnel y en su proximidad son menores que en la carretera a cielo abierto, la transición debe realizarse suficientemente antes de la boca del túnel y ser tan progresiva como sea posible.



Central circular Shinjuku Route. Túnel en la vía de circunvalación a Tokyo, 2010

SECCIONES TRANSVERSALES Y PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS HABITUALES

En túneles de carreteras la forma de la sección transversal es generalmente rectangular o circular, dependiendo fundamentalmente del procedimiento constructivo. En el cuadro de la página siguiente se indican algunas secciones transversales correspondientes a determinados procedimientos constructivos.

Las dimensiones de las tipologías empleadas dependen del espacio de la sección transversal necesario para la circulación. Estas varían en función de:

- Volumen de tráfico e importancia del túnel
- Velocidad de proyecto, distancia de seguridad y distancia de visibilidad
- Espacio reservado para el equipamiento interior (señalización, ventilación, iluminación, circuito cerrado de televisión, control del tráfico, control de la calidad del aire, etc.)
- Coste de la obra en función de las normas de seguridad requeridas
- Gestión del tráfico necesario en caso de incidente en el túnel
- Normativa local de aplicación y disponibilidad presupuestaria.



Imagen virtual de los túneles de la Plaza de las Glorias, Barcelona

Sección transversal	Procedimiento constructivo habitual	Comentario
Circular	Tuneladora (TMB)	Recientemente extendido en Japón a sección rectangular
Rectangular	Túnel sumergido	En EEUU son comunes secciones circulares
Rectangular	Falso túnel	La utilización de prefabricados conduce a veces a secciones abovedadas
Herradura	Voladura	Utilizado en roca
Bóveda y Contrabóveda	Método tradicional de excavaciones y sostenimiento	En roca dura, la sección en herradura es habitual

De un país a otro, las soluciones dadas a las cuestiones aquí planteadas son muy distintas y dentro de cada país, la respuesta dada a las diferentes situaciones también varía y evoluciona continuamente.

EL GÁLIBO VERTICAL

En los túneles rectangulares o con falso techo utilizado para ventilación es donde con mayor frecuencia se producen accidentes con vehículo de gran tamaño.

Se aconseja habilitar fuera del túnel, antes de cada boca, una vía alternativa de paso señalizada así como un sistema para detener físicamente a los vehículos excesivamente altos.

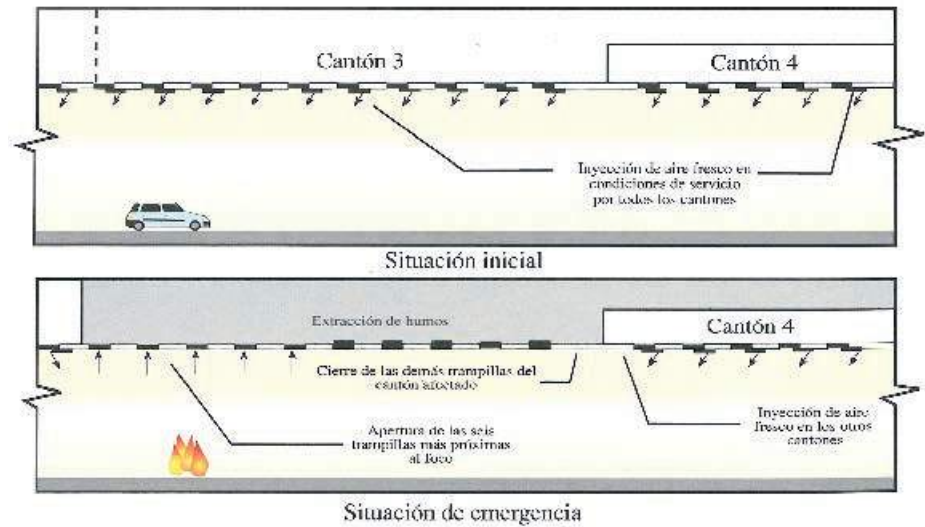
LOS TÚNELES UNI O BIDIRECCIONALES

En los túneles bidireccionales se producen más accidentes que en los unidireccionales. Sin embargo, los usuarios respetan bastante bien la prohibición de adelantar en casos de pendientes suaves. En caso de pendientes pronunciadas, sería apropiado prever un carril adicional para vehículos lentos.

LAS CONEXIONES

Las conexiones subterráneas (carriles de acceso o de salida a otras vías) pueden causar accidentes. Deben estar proyectadas correctamente. Se cuidará que la señalización luminosa subraye a estos puntos singulares y las dificultades geométricas a las que debe hacer frente el usuario. Se debe prestar atención también a la correcta percepción visual por parte del usuario.

En el interior de un túnel las salidas deben estar localizadas a una cierta distancia de las bocas. En los casos en los que la vía de salida esté situada inmediatamente



Esquema de actuación sobre trampillas en un régimen de explotación y en uno de emergencia. Ventilación transversal del Túnel de Somport

después de la boca de salida del túnel se han producido numerosos accidentes, la mayor parte con víctimas. En los túneles con condiciones de espacio reducido sería adecuado proyectar un carril adicional en su interior para acceder a la vía de salida.

LA VENTILACIÓN

La ventilación de un túnel es esencial para mantener en buenas condiciones la atmósfera en su interior y, sobre todo, para conseguir minimizar los efectos de los humos producidos durante un incendio.

Los principales sistemas de ventilación a aplicar son los siguientes:

Aplicación de la ventilación natural

Con la ventilación natural, la renovación del aire se produce al crearse, en el túnel, una velocidad longitudinal del aire que es función, básicamente, de la diferencia de presión y temperatura entre las dos bocas.

La ventilación natural, puede ser muy importante en los túneles largos y con fuerte pendiente; aunque esta ventilación se caracteriza por su gran inestabilidad, al depender de las condiciones atmosféricas en las bocas.

Por ello sólo se confía exclusivamente en la ventilación natural en los túneles de escasa importancia.

Aplicación de la ventilación longitudinal

En la ventilación longitudinal la renovación del aire se produce, al igual que con la ventilación natural, haciendo circular el aire a lo largo del túnel; pero en este caso, la velocidad longitudinal necesaria para renovar el aire se consigue mediante ventiladores de chorro, colocados a lo largo del túnel.

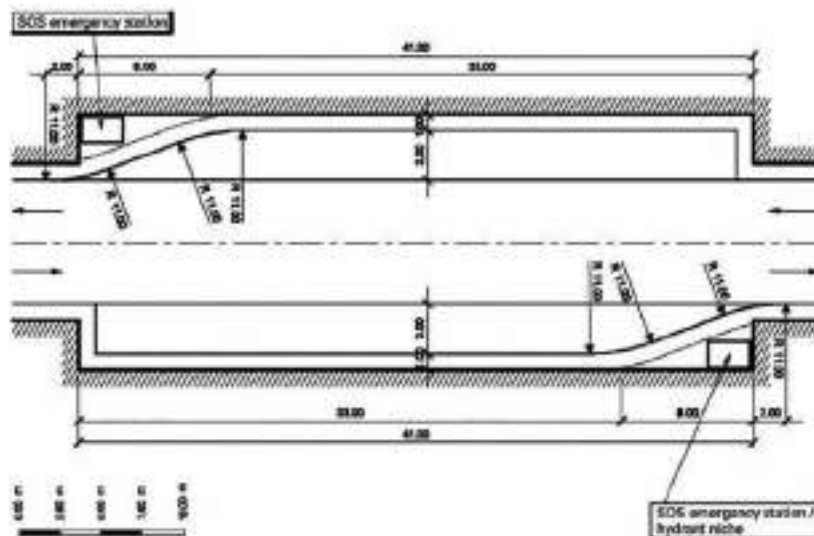
Aplicación de la ventilación transversal o semi-transversal

En la ventilación transversal, el túnel se divide en cantones que se ventilan independientemente. En cada cantón existen dos conductos, normalmente materializados por un falso techo, uno de los cuales se destina a impulsar aire fresco y el otro para aspirar el aire viciado y los humos en caso de incendio.

De esta forma la renovación del aire no se hace longitudinalmente; sino transversalmente al eje del túnel.

EL DISEÑO DE APARTADEROS EN TÚNELES DE CARRETERAS

Muchos de los túneles existentes no disponen de carriles de emergencia o arcenes suficientemente anchos —de más de 2,5 metros (a lo largo de todo el túnel)— para los vehículos que por alguna razón se ven obligados a detenerse dentro del mismo. Sin embargo, los apartaderos permiten que los vehículos se detengan en un túnel sin bloquear el carril de circulación, reduciendo las perturbaciones al tráfico y el riesgo de colisión. Es más seguro para los ocupantes del vehículo detenido



salir del mismo en un apartadero y especialmente para las personas discapacitadas, para, por ejemplo, usar un teléfono de emergencia. Igualmente son utilizados para labores de mantenimiento del túnel ya que garantizan un estacionamiento seguro para los vehículos de conservación.

Para diseñar geométricamente la sección de un túnel, normalmente, se define una única sección tipo para el túnel acabado con las diferencias debidas a los diferentes peraltes, exceptuando zonas concretas, como los apartaderos cuya sección debe ser estudiada de forma específica. En esos estudios para la definición de la sección del túnel se han de considerar también los servicios que puedan ser necesarios instalar, como por ejemplo la ventilación, conducciones bajo calzada, caces para la evacuación de vertidos, arquetas, pozos de registro, así como la posibilidad de tener que emplear varias tipologías de sostenimiento y contrabóvedas.

La definición de una sección diferente a la del resto del túnel para los apartaderos obligará a un sistema específico de construcción, y si se emplean carros de encofrados para realizar el revestimiento definitivo, éstos deberán estar especialmente diseñados para permitir el trabajar con esa sección diferente del túnel.

Sobre normativa y estudios relativos a los apartaderos, existen en Europa distintas normativas, principalmente las siguientes: Francesa (CETU), Norma de Austria, Norma de Suiza, Norma de Noruega, la Directiva Europea (2004) y la Española (2006).

DIRECTIVA EUROPA Y ESPAÑOLA

La Directiva Europea (2004) para túneles de la red Trans-Europea de carreteras y el Real Decreto 635/2006, “sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado”, como consecuencia de la transposición de dicha directiva, señala para los “apartaderos”, lo siguiente:

Apartaderos:

En los túneles bidireccionales en fase de proyecto o construcción de longitud mayor de 1500 metros, con un volumen de tráfico superior a 2000 veh./carril, deberán habilitarse apartaderos a distancias no superiores a los 1000 metros, caso de que estén previstos carriles de emergencia o arcenes de anchura superior a 2,5 metros.

En los túneles bidireccionales ya existentes de longitud mayor que 1500 metros, con un volumen de tráfico superior a 2000 veh./carril, que no dispongan de carriles de emergencia, se evaluará la viabilidad y eficacia de dotarlos o no de apartaderos mediante los pertinentes análisis de riesgo.

Túnel en Suiza con apartaderos con paramento perpendicular al sentido de la circulación. Inaugurado en febrero de 2013, un año después del gravísimo accidente de marzo de 2012, con un diseño similar de apartaderos.



En los restantes túneles en los que sea requisito la disposición de apartaderos de acuerdo con el apartado “Equipamiento mínimo según la tipología de túnel (Túneles unidireccionales de longitud mayor que 1.000 metros)”, cuando las características de la construcción del túnel no lo permitan o sólo lo permitan con costes desproporcionados, no será preciso habilitar apartaderos si la anchura total del túnel accesible para los vehículos, excluyendo las partes elevadas y los carriles normales de circulación, sea al menos igual a la anchura normal de un carril.

Los apartaderos contarán con un puesto de emergencia.

LOS PROBLEMAS RELACIONADOS CON LOS APARTADEROS

Si bien los apartaderos en túneles de carreteras pueden ser de ayuda en determinados casos, también presentan algunos aspectos sobre los que conviene reflexionar. Sin duda, es muy importante prestar atención en los paramentos extremos de los apartaderos para evitar que ofrezcan una cara perpendicular al sentido de la circulación pues un impacto de un vehículo sería una colisión frontal o más o menos centrada y podría tener consecuencias de importancia. A continuación, se presentan casos de accidentes recientes en los que un vehículo colisionó contra el extremo de un apartadero.

El Caso del accidente en el Túnel de Sierre. Suiza

El 13 de marzo de 2012, en el túnel de Sierre (Autopista A-9, cerca de Sierre), un autocar pierde el control e impacta contra el muro del extremo final de uno de los apartaderos con paramento perpendicular al sentido de la circulación. En el autobús viajaban 52 personas: fallecieron 22 niños y 6 adultos, 24 niños resultaron heridos. Se trata de un túnel unidireccional, de 2.460 metros de longitud, inaugurado en 1999, proyectado según las actuales normativas, disponiendo entre otros elementos de seguridad de salidas de emergencia cada 300 metros, extintores y teléfonos de emergencia cada 150 metros y apartaderos cada 600 metros.

Los Accidentes en España

Los extremos finales de los apartaderos han influido en mayor o menor medida en el resultado de varios de los accidentes en túneles españoles:

- Túnel de El Perdón, Autovía del Camino, A-12, Navarra, de 1170 metros de longitud (2010).
- Túnel de Priañes, Autovía A-63, Asturias, de 620 metros de longitud (2012).
- Túnel de Priañes (2014). Con un total de tres víctimas mortales

Accidente en el túnel de Sierre. Suiza (marzo de 2012). Impacto contra el muro del extremo final de un apartadero; fallecieron 28 personas. Las consecuencias de un fallo humano y de un diseño “intolerante” del túnel



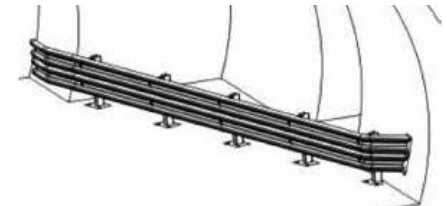
CONCLUSIÓN

Los antecedentes indicados de accidentes relacionados con apartaderos en túneles de carreteras, dan a conocer posibles problemas en los diseños de los paramentos extremos de los mismos. Es muy frecuente construir dichos extremos perpendiculares al sentido del tráfico. En aquellos casos en los que los extremos se construyen oblicuos al sentido del tráfico solían serlo más por razones de trazado en la idea de facilitar a los usuarios tanto las entradas como las salidas a los mismos, y no tanto por razones de seguridad frente a impactos: en algunos casos un bordillo y/o cebreado marca el trazado de entrada y salida de los mismos.

El grave accidente del túnel de Sierre, así como otros habidos en otros túneles con vehículos ligeros, aconsejan reflexionar al respecto de aquellos factores que hayan podido influir o agravar el accidente, así como en las posibles medidas a tomar para evitarlo, o mitigar sus efectos, en un futuro. Parece que la existencia de paredes perpendiculares y muy posiblemente también las que se construyen con cierto ángulo estricto al sentido del tráfico y sin protección de los apartaderos deben ser consideradas peligrosas. Este peligro es especialmente relevante en el espacio confinado de un túnel, un peligro que se acentúa por el hecho de que sólo la más mínima desviación de la trayectoria del conductor a la derecha (la existencia de apartaderos está asociada en general a la existencia de un arcén insuficiente) si es que ocurre exactamente en el momento equivocado, podría dar lugar a un impacto severo en el muro extremo del apartadero.

Es posible que la protección para mitigar los daños en caso de impacto en túneles existentes pueda diseñarse empleando elementos tales como barreras de seguridad metálicas, barreras de hormigón y atenuadores de impacto.

También se debería analizar sobre el empleo de esos apartaderos en proyectos nuevos. Debería evaluarse la conveniencia de dotar a los túneles de anchura suficiente en la plataforma, para que no sean necesarios los apartaderos. En los nuevos proyectos es aconsejable diseñar los extremos finales de los apartaderos con ángulos mucho más suaves, del orden de 1:20 respecto a dirección del carril derecho de la calzada.



Equipamiento de seguridad en túneles de carretera

Sistemas de ventilación

De producirse un incendio, el sistema de ventilación extrae el humo del túnel o lo dirige en una sola dirección. En este último caso dirige el aire en dirección contraria a la corriente de aire hacia la salida de emergencia más próxima.

Las salidas de emergencia están claramente señalizadas con paneles y señales luminosas. En caso de incendio, abandone inmediatamente su vehículo y siga las señales luminosas que indican el camino hacia la salida de emergencia. Las salidas de emergencia están dotadas de puertas resistentes al fuego y al ruido.

Iluminación

Los sistemas de iluminación permiten al conductor adaptarse con rapidez a la reducida visibilidad de los túneles. Las salidas de emergencia y los postes SOS tienen una iluminación permanente de seguridad.

Radio

La frecuencia de la emisora que transmite información sobre el tráfico se indica en carteles y señales. Sintonice la radio antes de entrar en el túnel. Permanezca atento a los avisos y siga las instrucciones del operador del túnel.

Vigilancia

Si se recibe una llamada de socorro desde el interior del túnel, las imágenes de la cámara situada en esa misma zona aparecen automáticamente en el monitor del centro de control del túnel.



Los postes SOS están situados a intervalos frecuentes. Están provistos de:

- teléfonos de socorro conectados al centro de control del túnel
- extintores de incendios
- pulsadores de alarma

Carriles de parada de emergencia o apartaderos

Hay carriles continuos de parada de emergencia, o apartaderos a intervalos regulares, para vehículos averiados. Los apartaderos laterales cuentan con postes SOS.

Seguridad vial en túneles de carretera

KO-3-20709-EC



Comisión Europea DG de Energía y Transportes • B-1049 Bruselas
Mapa de carreteras, información y servicios de emergencia

Dirección General de Energía y Transportes de la Comisión Europea

Tríptico de equipamiento en Túneles de Carreteras para información del usuario, editado por la Comunidad Europea

SOBRE LA RESISTENCIA AL FUEGO DE HORMIGÓN EN TÚNELES

La resistencia al fuego del hormigón es esencial en un túnel ya que, habitualmente, forma, junto con el sostenimiento, la estructura resistente, tanto si es en masa, como si es armado, desempeñando entonces, además, un papel protector de las armaduras.

Aunque los fuegos de los túneles son relativamente frecuentes, la mayoría no tienen consecuencias graves siendo muy pocos los que provocan destrucciones importantes en el revestimiento y pérdida de vidas. Entre los primeros se encuentran los provocados por vehículos ligeros, que suelen tener escasas o nulas consecuencias en cuanto a afección de la estructura, dada su baja potencia calorífica. Entre los segundos, se encuentran aquellos en que están involucrados vehículos pesados y/o mercancías peligrosas, que son los que provocan daños importantes.

ORDEN DE MAGNITUD DE LAS POTENCIAS CALORÍFICAS SEGÚN EL VEHÍCULO INCENDIADO

TIPO DE VEHÍCULO	CARGA CALORÍFICA (MJ)
Turismo	3.000 a 6.000
Turismo con carrocería plástica	7.000
Autobús	41.000
Camión	65.000 a 88.000
Cisterna con 50 m³ de gasolina	1.500.000



Incendio en el túnel de Mont Blanc, Francia/ Italia. 1999

EFFECTOS DEL CALOR EN EL HORMIGÓN

En todas las referencias a la resistencia del hormigón frente al fuego se señala que ésta es únicamente función de la temperatura del aire.

Por lo tanto, en primer lugar, se indican las temperaturas que pueden producirse en función del tipo de vehículo incendiado y la distancia al foco emisor.

VEHÍCULO	TEMPERATURA ° C			
	DISTANCIA AL FUEGO (m)			
	10 m	100 m	200 m	400 m
Turismo	400	150	80	40
Camión	700	250	120	60
Cisterna	1000	400	200	100

EFFECTOS EN EL HORMIGÓN

El efecto del fuego en el hormigón puede resumirse en la siguiente Tabla:

TEMPERATURA	EFFECTO EN EL HORMIGÓN
≤100°C	Ninguno
100°C-150°C	Evaporación del agua capilar y de absorción
150°C durante un período largo	Disminución de la resistencia a compresión y fuerte disminución de la tracción. El “spalling” comienza entre 150°C-200°C
Hasta 250°C durante un período corto	Disminución de la resistencia a tracción. La de compresión se ve poco afectada
300°C-500°C	Pérdida del 20% de la resistencia a compresión. La de tracción desaparece
≥500°C	El cemento se destruye por la pérdida del agua de cristalización
900°C-1000°C	Pérdida total del agua y colapso del hormigón

MECANISMOS DE DESTRUCCIÓN DEL HORMIGÓN

Los efectos del fuego en el hormigón producen distintos mecanismos de alteración/ destrucción y que se resumen a continuación:



Hundimiento del techo en unos 200 metros de longitud en el incendio en el túnel de San Gotardo, Suiza. 2011

a) Formación de vapores

El agua actúa de varias formas en el hormigón, la transición líquido-gas a 100°C supone un gran incremento de energía, aunque no tiene efectos importantes, salvo un ligero enfriamiento. Sin embargo, también se produce un gran incremento de volumen ya que el del vapor supone 1000 veces el correspondiente de la fase líquida. Como este volumen no está disponible en la estructura del hormigón, crece la presión hasta superar la resistencia a tracción. Se produce entonces el “spalling” y la presión baja.

b) Las transformaciones químicas del cemento y de los áridos se producen en función del nivel de temperatura.

La resistencia del cemento disminuye llevando a la destrucción del hormigón. El agua liberada en forma de vapor contribuye, además, a acelerar el proceso.

c) Armaduras: los materiales metálicos pierden resistencia a medida que se incrementa la temperatura. Hasta unos 200°C la resistencia del acero no se ve afectada. A 700°C, dicha resistencia es del orden del 20% de la normal. Como consecuencia, si se trata de un hormigón armado, la resistencia se ve muy afectada. Por ello, en revestimientos armados, la temperatura del acero se limita entre 250-300-400°C (según diversas recomendaciones).

d) Alteraciones térmicas: Como cualquier otro material, el hormigón está sujeto a una alteración debida a los efectos térmicos. Esto se combate, habitualmente, disponiendo juntas de expansión. Estas acciones se incrementan con la temperatura, produciendo tensiones que contribuyen a la destrucción de la estructura.

CRITERIOS DE DISEÑO

El diseño de una estructura resistente al fuego debe de tener en cuenta, principalmente, los siguientes criterios (según la Circular Interministerial de agosto de 2000 en Francia/ CETU).

- Proteger a los usuarios que han alcanzado las instalaciones de evacuación durante el tiempo necesario para alcanzar la salida, que se cifra en 60 minutos para tener en cuenta la posible presencia de personas discapacitadas.
- Asegurar la protección de los usuarios en los refugios (si existen) y permitir su evacuación por los equipos de socorro, fijado en 120 minutos.
- No poner en peligro a los equipos de emergencia, particularmente a los bomberos durante el tiempo de socorro, fijado en 120 minutos.

- Mantener la alimentación eléctrica y las comunicaciones a ambos lados del incendio durante la duración máxima.
- Evitar cualquier inundación, así como cualquier invasión del túnel por el terreno que pueda tener consecuencias catastróficas durante la duración máxima del incendio.
- Proteger las eventuales obras y construcciones vecinas, asimismo durante la mencionada duración máxima del incendio.

ALGUNAS SOLUCIONES

Debido a las últimas catástrofes (Mont Blanc, Tauern y San Gotardo), se ha intensificado, en los últimos tiempos, la investigación sobre métodos para aumentar la resistencia al fuego del hormigón.

Dejando a un lado los productos como pinturas o placas aislantes, nos centraremos aquí en los métodos que aumentan la resistencia al fuego del hormigón en sí mismo.

Así, algunos de los métodos para aumentar la resistencia al fuego del hormigón en sí mismo, puede ser sustituir los áridos, por aditivos ligeros resistentes al fuego; asimismo se utilizaría cemento de alto horno con alta proporción de escorias, además de añadir fibras de polipropileno con objeto de crear canales de expansión que permitan que se escape el vapor.

Igualmente, según distintos ensayos realizados, un recubrimiento de 7 centímetros para las armaduras tendría un margen de seguridad suficiente, en aquellas partes de la estructura que pudieran estar en contacto con el fuego y altas temperaturas.

CONCLUSIÓN

La protección del hormigón contra el fuego persigue mantener la resistencia de la estructura, al menos, hasta que se hayan terminado las labores de rescate o, en los casos en que el colapso de aquella pudiera producir efectos catastróficos, durante todo el incendio.

Es importante indicar el hecho de que, dado el coste que tienen las medidas adicionales de protección, es conveniente recurrir a la solución que realmente sea necesaria, ya que el incremento en la obra civil puede fácilmente incrementarse en un 15-20%.

LA INSERCIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS VIARIAS EN EL PAISAJE

El impacto que puede producir una nueva carretera en el paisaje debe considerarse desde el planteamiento preliminar de la vía, a través del análisis de sus características y de la morfología del entorno, cursos fluviales, masas de agua, accidentes notables, etc. Se tratarán de aprovechar los elementos paisajísticos del corredor y los demás factores ambientales, pensando asimismo en los usos potenciales del suelo.

Constituye otra preocupación esencial adecuar todo lo posible el trazado en planta y perfil a la configuración del paisaje natural. Hay que potenciar la exposición de lugares históricos o panorámicos, brindar espacios abiertos, miradores, lugares de recreo, etc. El papel cada vez más destacado del automóvil en nuestra sociedad motorizada exige cada vez más atención e imaginación en el proyectista de trazados, por razones estéticas. Los principios de valoración y tratamiento del paisaje, según se entienden en nuestros días, deben estar presentes en todas las fases del diseño, construcción y explotación de la carretera, poniendo énfasis en la inserción de la vía en su entorno.



Autobahnbrücke, Wald. Tramo de autopista en viaducto a media ladera en Suiza



La cualidad paisajística de la carretera debe extenderse, más allá de la traza y sus franjas adyacentes, a las cuencas visuales de los puntos críticos, o sea, lo que pueda verse desde unos miradores estratégicos; así como a valores estéticos notables, rasgos arqueológicos, riberas de los ríos, etc.

En menor o mayor volumen siempre exigirá una explanación (desmontes y terraplenes), y es importante el perfil que se les dé, pues constituye la interfaz entre la carretera y el terreno colindante. Es decir, es necesaria una cuidada integración tanto para el usuario de la vía como para el observador del exterior. Una construcción acorde con el relieve ambiental adoptará unos taludes en consonancia con las pendientes naturales, suavizando las líneas cuando proceda y encajándolas en la geomorfología del emplazamiento.

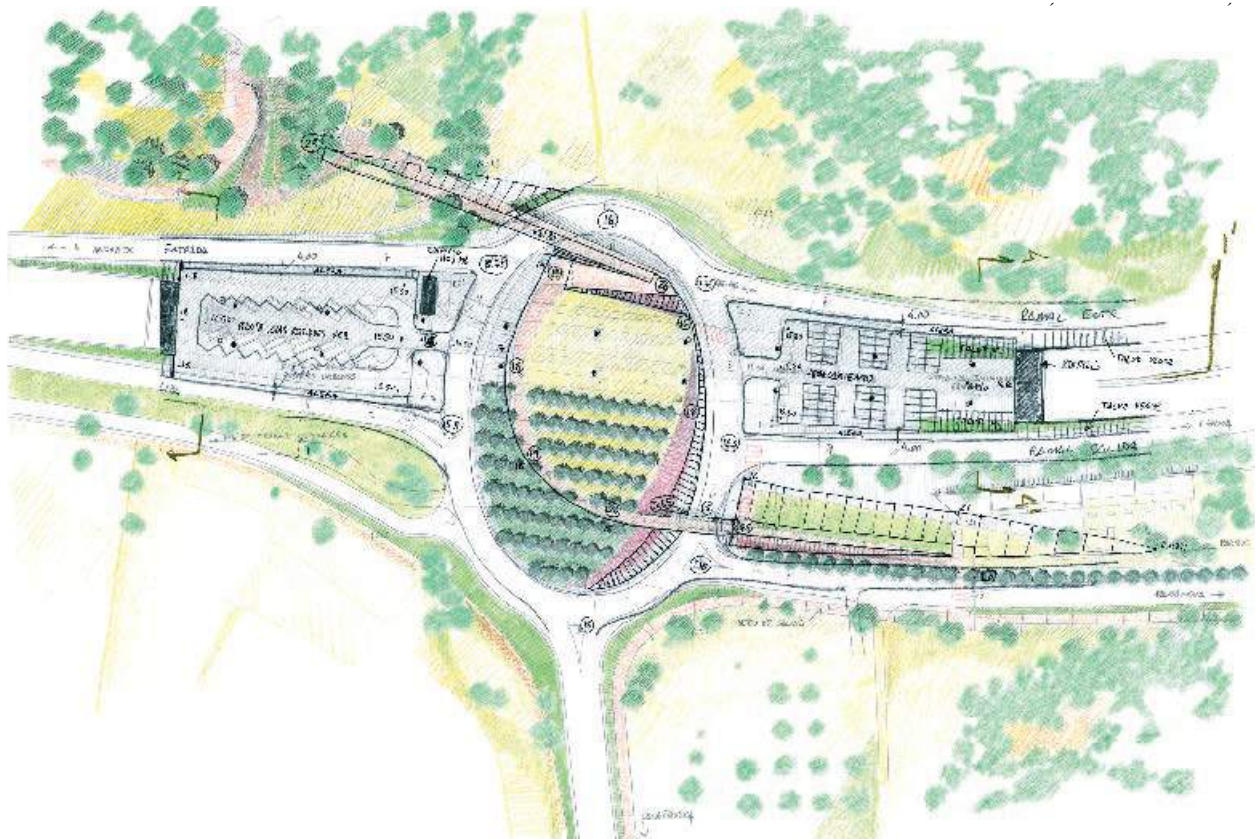
Frente a estas consideraciones y recomendaciones no puede olvidarse que el paisaje, en su propio origen y presencia, es un concepto controvertido; se le achacaba más subjetividad de la que tiene, y al final era frecuente que se manejara de cualquier forma, subordinada a otros condicionantes, en las soluciones definitivas. Pero la situación a este respecto ha mejorado mucho, y en todos los países adelantados hay destacados ejemplos de carreteras nuevas o tramos acondicionados donde se han logrado unos buenos paisajes conjugando la geomorfología y la vegetación.

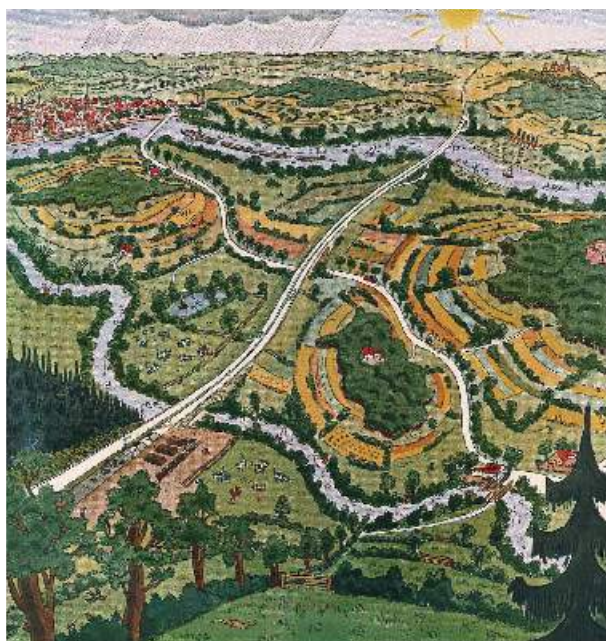
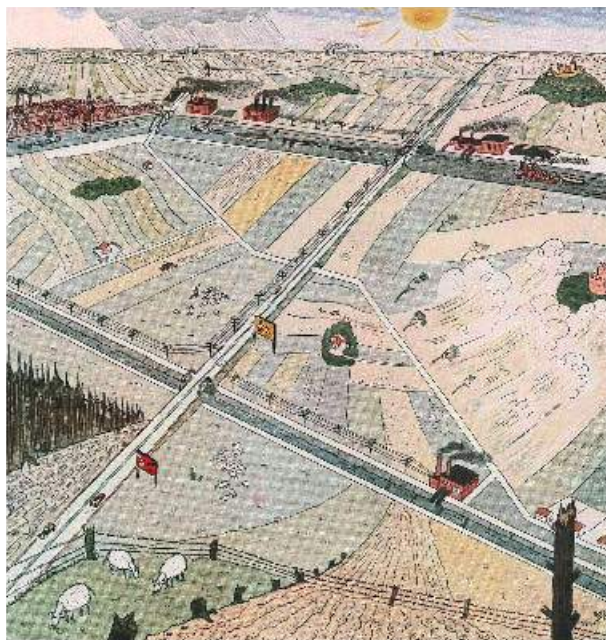
Carreteras para disfrutar del paisaje. Camino de Querallbs en el Pirineo Catalán

(pág. derecha)

Propuesta del Enlace de Cala Figuera en la vía parque de Calvià, Mallorca

Carretera C-16 entre Berga y Bagà. Barcelona





Advertencia contra los caminos rectos, publicado en octubre de 1941 en la Revista *Signal*

EL DISEÑO ALEMÁN

En Alemania el trazado de las carreteras desde los años 30, ha sido excelente evitando las grandes alineaciones rectas, encajan perfectamente la vía en el territorio logrando unir la carretera al paisaje

“El fiscal del campo, una nueva e importante profesión europea. Durante los últimos años se oye sin cesar la consigna de que la técnica convierte a Europa en una estepa. Esta frase entraña el problema de los caminos rectos y curvos en la naturaleza. La propia naturaleza no conoce los primeros, que sólo existen en la imaginación de las matemáticas. Sin embargo, cuando el hombre, procede a configurar el paisaje en gran escala, se siente propenso con demasiada facilidad a tener por mejor el camino recto. Pero si esta inclinación tradicional conduce a superficies y líneas horizontales, surgirán entonces tan extrañas catástrofes naturales como los huracanes en América. Para iniciar a sus lectores en el problema de los caminos rectos y los curvos publica *Signal* estos dos diagramas.

Quien se limite a dirigir una ligera mirada a estos dibujos advierte dos paisajes completamente distintos; el de arriba es viejo, desierto y gris; el de la derecha, joven, fresco y verde. Pero pronto se descubrirá que se trata en ambos del mismo terreno. A la izquierda ha actuado sólo un fanático del tablero de dibujo y ha surgido un terreno técnico, una estepa de cultivo, Pero a la derecha florece y se cubre de verde el mismo paisaje fértil y explotado, donde domina el sentido de la ordenación natural. ¿No se oculta un concepto realmente dudoso en esta frase de “ordenación natural o biológica”? Sólo la experiencia puede dar la respuesta.

Contemplemos una vez más —y esta con mayor atención— el dibujo de abajo, que con sus numerosas líneas curvas debe corresponder a la “ordenación biológica”. Descubrimos que dos ríos y una carretera atraviesan el paisaje de derecha a izquierda y que una gran autopista se ondula de arriba a abajo a través del campo. Los ríos están marginados de setos, maleza y árboles, del mismo modo que los campos están también rodeados y atravesados por matorrales de arriba a abajo. La idílica calma de este paisaje proviene de la falta de viento.

Alemania ha comprendido estas señales de alarma. Hace ya varios años que existe en el Reich un fiscal de campo. Es el profesor Seifert, que inspecciona las obras de las autopistas del Reich conforme a los principios de la “ordenación biológica”. En la futura reconstrucción de Europa habrá que valorar las experiencias hechas con los fiscales del campo alemanes como una importante contribución a la lucha contra la “transformación de Europa en una estepa” .

El Reino Unido, junto con Alemania, son dos de los principales países que más se han preocupado por el respeto y tratamiento del paisaje, dentro del impacto ambiental que inevitablemente supone el trazado de una nueva carretera o autopista. Últimamente en nuestro país, en las distintas Administraciones competentes en la materia, hay una creciente sensibilidad por mejorar la integración de las infraestructuras viarias en el territorio.



2.4 ANCIENT COUNTRYSIDE



Typical Downland countryside

Key features for integration are:

- range of scale of rural life
- numerous 'scattered' features (hedgerow, wood, etc.)
- clear, distinct, and well-defined boundaries and surrounding landscape
- even being the most subtle features (e.g. small roads)



Some integration principles

2.5 DOWNLAND



Typical downland landscape

Key features for integration are:

- very low level of rural development (e.g. small villages)
- large, flat, open and rolling landscape (e.g. downland)
- clear, distinct, and well-defined boundaries and surrounding landscape
- even being the most subtle features (e.g. small roads)



Integration is a matter of scale and alignment to fit the topography and the character of the landscape. Planning or engineering a road which would emphasize the line of the road, cutting out of the landscape, will not be successful. The road should always be subordinate.

La autopista federal A555, la primera *Autobahn* alemana (arriba)

Fichas de ejemplos de integración de la carretera en el territorio. Normativa del Reino Unido, *Design Manual for Roads and Bridges*, "Environmental Design" (abajo)

LAS VÍAS PARQUE (*PARKWAYS*) DE ESTADOS UNIDOS

El modelo de vía parque (*Parkway*) se basó en una idea original de Frederick Law Olmsted y Calvert Vaux, los responsables del diseño de Central Park. Sus vías parque pretendían ya en el siglo XIX conectar parques con parques, o barrios residenciales con parques. Este planteamiento se fundamentaba en la tendencia ilustrada que anunciaba una urbe abierta, proponiendo recuperar un nuevo equilibrio entre la ciudad y la naturaleza, entre espacio edificado y espacio libre. El gran crecimiento del uso del automóvil en la segunda década del siglo XX, cambiaría el papel de la vía parque americana como carretera; pasaba así de ser un agradable paseo campestre a convertirse en una ruta que conectaba la ciudad con ciudades satélites y suburbios.

El inicio de la ciudad extensa y del automóvil estuvo ligado tanto a los *Parkways* y a las *Park Avenues* que sirvieron para conectar con las primeras promociones residenciales de Boston y Nueva York y que posteriormente derivaron en el programa de autopistas interestatales que generaría un enorme desarrollo suburbial. La calidad del diseño de estas vías y su trazado de largo recorrido permitió su asimilación a la circulación del tráfico de alta velocidad entre el centro y los suburbios en décadas posteriores. Para evitar congestiones hubo que adecuar la vía a cierto tipo de vehículos, por medio de los cruces en desnivel.

Tenían como único propósito servir como espacios de aire libre para las masas urbanas, lugares para el relax o la meditación entre hermosas vistas en comunión con la naturaleza y que por tanto debían conservarse en su estado natural. El gran creador de las vías parque fue Robert Moses (1888 - 1981).

El modelo de ciudad de Moses consistía en el abandono de la alta densidad de la ciudad del siglo XIX y la vuelta a la imagen de los grandes bosques y prados. Los objetivos que esta forma de planificar intentaba restaurar, eran la individualidad y la privacidad. Los puentes, túneles y vías parque hacían posible la liberación de los ciudadanos de Manhattan de la prisión de la isla y les ofrecían espacios abiertos en Long Island.

La evolución de la cartografía en estos años muestra la progresión de Nueva York desde una serie de islas separadas a una gran metrópoli de cinco distritos unidos por sus infraestructuras. Mientras que los mapas de comienzos de siglo reflejan que lugares como Jones Beach aún no tenían conexión rodada, los de los años treinta señalan el desarrollo de una red de carreteras y puentes y empiezan a apuntar manchas verdes que anuncian un creciente sistema de parques y la expansión de la red y del perímetro de las infraestructuras viarias de Manhattan.



Grand Central Parkway. Long Island, 1941
(arriba)

Cloverleaf on the shore parkway. Long Island,
1941 (abajo)

Más tarde y para atender las exigencias de velocidad de los desplazamientos era necesario reducir los itinerarios entre los puntos que unen las vías de largo recorrido, por eso se proyectaron las vías con los trazados rectos y continuos, sustituyendo el valor paisajístico del recorrido curvilíneo del parkway. Los nuevos ejes o los existentes se diseñaron más bien como un expressway o highway cuyo objetivo era lograr las mayores velocidades de desplazamiento y, ya no tanto, buscar las mejores vistas y la adecuación al paisaje por medio de un trazado sinuoso.

A la vez que se creaban las vías parques en el entorno de las grandes ciudades como Nueva York, Washington, Los Ángeles, Buffalo, etc., se empezó a pensar en construir vías parques, coincidiendo con la creación de los “Parques Nacionales”, para que el gran público pudiera acceder a ellos en automóvil y disfrutar del espléndido recorrido panorámico que les proporcionaría. F125

El proyecto y construcción de estas vías tuvieron una especial condición paisajística, que residió fundamentalmente en las cualidades de su trazado que fueron esenciales en cuanto a su aspecto estético y la disposición de su plataforma y, desde luego, a la singular calidad escénica que deberían tener la sucesión de vistas que deberían proporcionar en su recorrido.

Se tuvo un especial cuidado en minimizar los movimientos de tierras para conseguir la máxima integración en el territorio, cuidando los valores paisajísticos de los distintos itinerarios y con la máxima calidad ambiental.

Una de las vías parque más relevantes, por el espectacular paisaje que atraviesa, es la Blue Ridge Parkway. Esta vía de 766 kilómetros de longitud es una de las que recorre más terrenos montañosos, atraviesa los montes Apalaches meridionales y enlaza dos pintorescos Parques Nacionales: el de Shenandoah, en Virginia, y el de las Great Smoky Mountains, en Carolina del Norte.

Esta vía es ideal para hacer excursionismo y admirar el paisaje montañoso de gran parte de su recorrido. En una media ladera, se ha habilitado un pasillo paralelo a la vía a modo de mirador hacia el magnífico paisaje de las Smoky Mountains. Así mismo, se han dispuesto superficies para aparcamiento y zonas de descanso adecuadamente equipadas.

La Blue Ridge Parkway fue uno de los grandes proyectos del presidente Franklin D. Roosevelt para fomentar el empleo en los años treinta. Se construyó entre los años 1935 y 1967.

(doble pág. siguiente)

Blue Ridge Parkway, Carolina del Norte (arriba, izda.)

Sección transversal de una de las pocas vías parque proyectadas y construidas en España, Vía Parque de Calvià. Mallorca, 2002 (abajo, izda.)

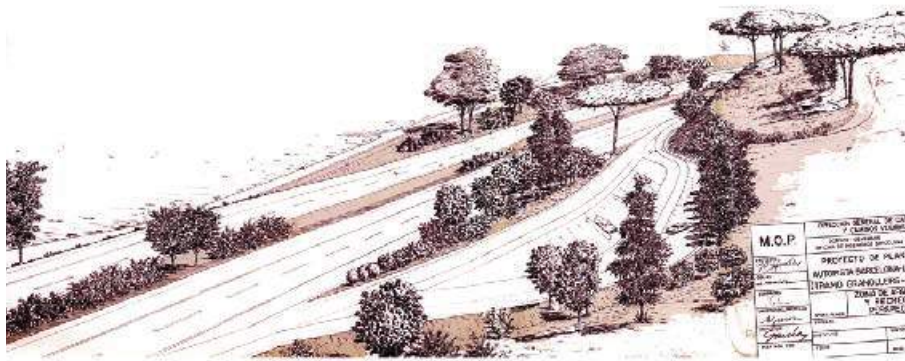
George Washington Memorial Parkway, Washington (arriba, dcha.)

Blue Ridge Parkway, Carolina del Norte (abajo, centro.)

Mirador y pasarela peatonal en la Blue Ridge Parkway, Carolina del Norte (abajo dcha.)







EL EJEMPLO DE INTEGRACIÓN EN EL TERRITORIO DE LA AUTOPISTA AP-7 BARCELONA- LA JONQUERA

La autopista AP-7 (Barcelona – La Jonquera) fue una de las primeras y principales autopistas de peaje que se han construido en España. Se otorgó la concesión en 1967 a ACESA, y fue puesta en servicio entre 1969 y 1975. Es uno de los mejores ejemplos en nuestro país, de una excelente integración de la vía en el territorio.

La AP-7, tiene la capacidad de generar nuevas dinámicas en el territorio y de ser un factor de cambio para el lugar. Se trata de un eje viario capaz de generar paisaje —nos enseña nuevos paisajes y a la vez los crea— es capaz de transformar el territorio en paisaje.

El proyecto diseñado por la ingeniería alemana Corch&Gehrmann consigue superar los conflictos funcionales -generando nuevas formas geométricas de trazado para vías rápidas, hasta el momento inexistentes en España —y los efectos formales y ambientales— proponiendo intervenciones concretas para mejorar la inserción de la vía en el territorio.

Fue proyectada —entre otros— por el ingeniero Wolfgang Preguel (afincado en Cataluña), a quien hay que atribuirle buena parte del éxito del trazado.

Normativamente “se introdujeron las espirales (clotoides) como curvas de transición entre dos radios circulares con lo que, por una parte, se eliminaron prácticamente en su totalidad, los tramos rectos y se dulcificaron (hasta su aparente desaparición) los puntos de inflexión”, lo que proporcionó una sensación de conducción amable con movimientos muy suaves de volante y permitió mantener una distancia de visibilidad más amplia.

A la vez y no menos importante, estas clotoides, al ser “más flexibles que los círculos, permiten una mejor adaptación de la plataforma de la autopista al terreno, lo que redundaba en una mejor integración de la autopista en el territorio atravesado.

Y finalmente, un entorno con una vegetación tan generosa y tan agradecida, aceleró y multiplicó el efecto positivo de las medidas aplicadas para la corrección del impacto ambiental y acabó invadiendo (con especies autóctonas) rápidamente las superficies abiertas y cubriendo cualquier cicatriz que la construcción dejó sobre el terreno. Todo a favor de la inserción óptima de la autopista en el medio natural.

(pág. izquierda)

Imagen del Proyecto de plantaciones de la autopista Barcelona-La Jonquera, actual AP-7. 1965

Autopista AP-7 en la zona de La Selva, Barcelona

Autopista AP-7 en la zona de La Roca del Vallés, Barcelona



LAS CARRETERAS INTELIGENTES

LOS SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE

En los últimos años se ha destacado en las carreteras una universalización de los sistemas Inteligentes de Transporte (más conocidos por sus siglas en inglés, ITS, Intelligent Transport Systems), aquellos sistemas que integran las tecnologías de la información y de las comunicaciones aplicadas al transporte. Algunos ITS llevan aplicándose satisfactoriamente en carreteras desde hace varias décadas, contribuyendo a la mejora de la seguridad vial. Sin embargo, el principal motivo que conduce a la instalación de ITS habitualmente tiene más que ver con la mejora de la capacidad o la gestión de la movilidad que con la seguridad vial.

Existen sistemas ITS que se han desarrollado con el objetivo de mejorar la seguridad vial: por ejemplo, los que avisan a los conductores de peligros próximos, aconsejándoles utilizar rutas y velocidades más seguras, mejorando el control del vehículo en ciertas situaciones críticas o avisando a los servicios de asistencia en caso de que haya ocurrido un accidente. Sin embargo, la mayoría de los ITS se han implantado con otros objetivos distintos de la seguridad vial. No obstante, también tienen un efecto positivo sobre la seguridad vial, debido a los cambios de los itinerarios y del comportamiento del conductor que pueden resultar de su utilización.

LAS TENDENCIAS PARA LOS PRÓXIMOS AÑOS

Históricamente, los ITS se han desarrollado en torno a dos grandes campos de aplicación, por un lado, los dispositivos sobre la infraestructura que sirven para proporcionar información de la circulación, tanto a los gestores de la infraestructura y del tráfico como a los usuarios y a los equipos de emergencia; y por otro, los dispositivos instalados en los vehículos que, si bien al principio su finalidad fue mejorar la seguridad pasiva, con los avances tecnológicos han llegado a construirse en elementos fundamentales de seguridad activa, disponibles hoy en día en todas las gamas de vehículos.

La investigación y desarrollo del ITS en los últimos años se ha dirigido hacia los dispositivos embarcados, que permiten la comunicación (vehículo a vehículo) o (vehículo a infraestructura). La mayoría de los fabricantes de automóviles han hecho suyas las políticas de mejora de la seguridad viaria que llevan a cabo los gobiernos e instituciones públicas y, cada vez más, están dotando a sus vehículos de serie de las últimas tecnologías que mejoran cada día la seguridad viaria. Los sistemas emiten avisos y es el conductor quién decide lo que debe hacer. Muchos de estos sistemas (como el avisador de vehículo acercándose en ángulo muerto o la aproximación

(pág. izquierda)

Vehículos con sistemas inteligentes de ayuda a la conducción

peligrosa por detrás a otro vehículo) se están implantando ya de serie en los vehículos de alta gama y están disponibles como opción en el resto de vehículos.

La tendencia actual es minimizar la acción del conductor, por lo menos en situaciones de emergencia. Hay ocasiones en que el accidente ocurre como consecuencia de una maniobra evasiva mal ejecutada por el conductor. Se sigue investigando cómo debería ser la respuesta automática del vehículo ante un aviso de emergencia, de forma que la maniobra evasiva se realice en circunstancias controladas por la electrónica embarcada.

Otra de las tendencias más significativas en este campo es la gestión dinámica del tráfico. Una gestión dinámica del tráfico necesita una detección dinámica del tráfico en tiempo real, y esta información sólo se puede conseguir, de forma continua, con dispositivos a bordo de los vehículos, lo que entraría dentro del conjunto de técnicas y aplicaciones que se engloban en el campo de los Big Data. No obstante, esta tecnología se enfrenta a un gran reto para su éxito: como hacer llegar la información a los usuarios de forma útil para éstos, para que sea bien valorada.

Cabe indicar que los últimos desarrollos ITS relacionados con la infraestructura se centra ahora en la interacción con el vehículo.

LOS RETOS

Para alcanzar la “Visión 0” (plasmada en el Libro Blanco del Transporte como objetivo a largo plazo) será necesario que ya en los próximos años se centre el foco en la seguridad activa, la implantación de los “sistemas cooperativos” y la definición de cuáles serán los servicios que se van a suministrar a los usuarios.

A continuación, se indican brevemente algunos aspectos que puede considerarse como los más prioritarios en relación con el despliegue de ITS relacionados con la seguridad vial y los desafíos que plantean.

PREVISIÓN EN TIEMPO REAL DE INFORMACIÓN QUE AFECTE A LA SEGURIDAD VIAL

Es de gran interés para la mejora de la seguridad vial disponer en tiempo real del estado en que se encuentra la infraestructura, así como de las incidencias del tráfico, meteorológicas y de otra índole que supongan un riesgo para la circulación. La gestión de esta información puede incidir sobre los usuarios de la carretera consiguiéndose decisiones y pautas de conducción más seguras. Además, tecnológicamente los vehículos de próxima generación estarán en disposición de medir y registrar también mucha información del tráfico y de la infraestructura. El procesamiento de esos datos por los ordenadores de a bordo pueden evitar problemas



puntuales e incluso impedir que un accidente llegue a término. Además, la recogida masiva de datos de la infraestructura por parte de los vehículos representa también una oportunidad para las administraciones de carreteras (aspecto que estaría englobando dentro de las técnicas de Big Data), pues podría coordinarse un intercambio de información que fuera útil para la conservación y explotación del viario, además de gestionar la información.

El despliegue generalizado de los sistemas cooperativos puede ayudar enormemente a evitar accidentes o a paliar sus consecuencias, gracias a que los vehículos son capaces no sólo de alertar al conductor, sino incluso de modificar automáticamente ciertos parámetros de la conducción ante situaciones de emergencia. Igualmente, el despliegue de dichos sistemas supone una oportunidad para las administraciones de carreteras, que podrían recabar información con el objetivo de localizar los puntos donde se detecten más incidentes y enfocar adecuadamente las medidas correctoras.

En España la Dirección General de Tráfico pretende disponer red wifi en la Red de Carreteras utilizando la infraestructura de postes SOS en desuso y las canalizaciones existentes, con el objetivo de dotar a las carreteras de dispositivos que interactúen con el usuario o con el coche, el denominado “coche conectado”.

LA IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA DE SEGURIDAD eCALL EN TODA LA UNIÓN EUROPEA

El sistema eCall consits en la comunicación con el número de emergencia 112 a través de una llamada sin la intervención del conductor, cuando se detecta que se ha producido un accidente grave (por ejemplo, si se dispara un airbag). Además del mensaje de emergencia pregrabado, envía la posición exacta del vehículo mediante coordenadas GPS, la hora y el sentido de circulación. Por supuesto, la activación puede hacerse de forma manual.

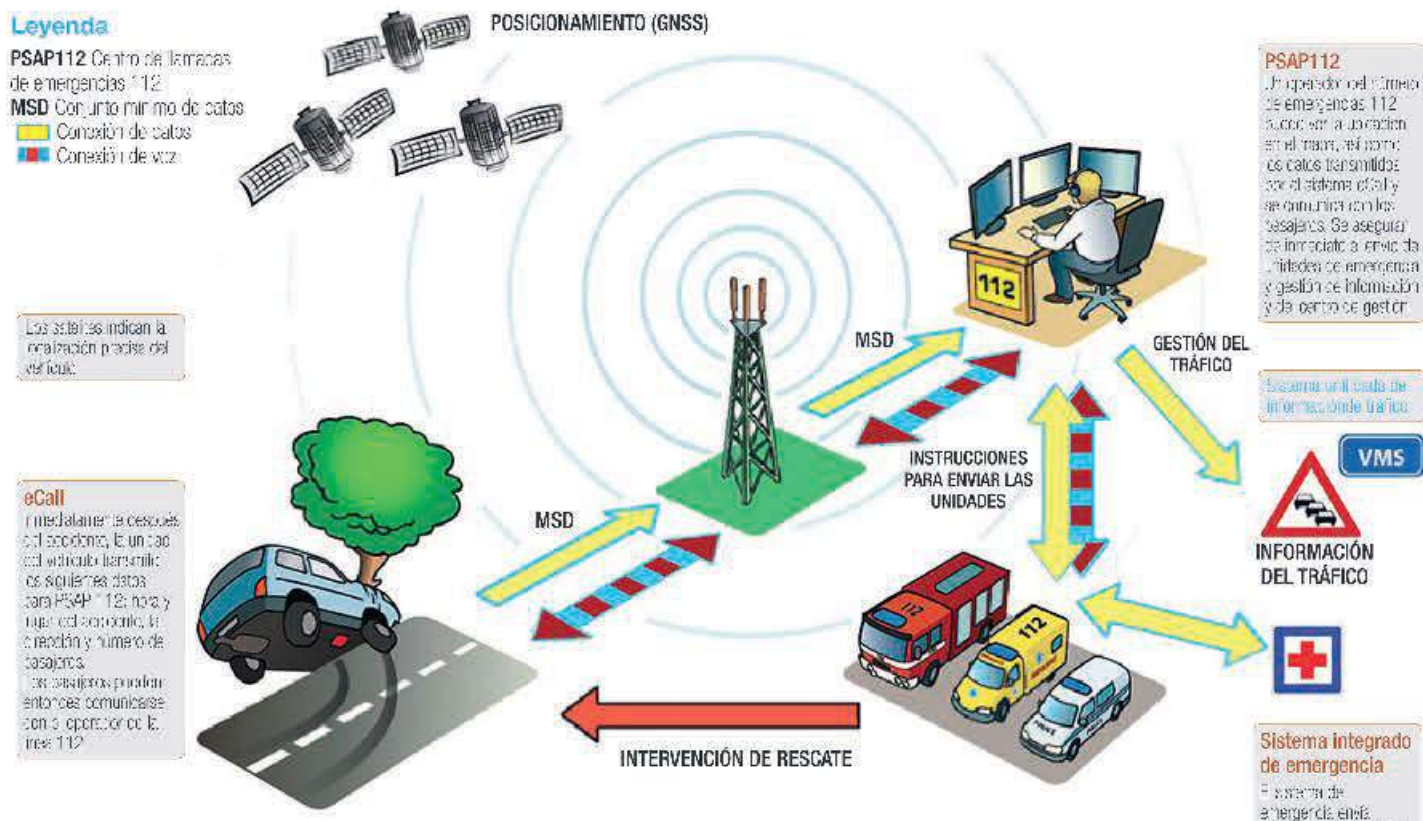
En el año 2015 se inicia el proyecto piloto de implantación en España.

LAS CARRETERAS INTELIGENTES FUTURAS: EL PROGRAMA FOREVER OPEN ROAD

Coordinado por el Forum of European National Highway Research Laboratories (FEHRL) y con la participación de institutos nacionales de Francia (LCPC), Alemania (BSSt), los Países Bajos (RWS) y Dinamarca (DRI), el Programa Forever Open Road está desarrollando conceptos de diseño y mantenimiento de las carreteras inteligentes futuras: adaptables, automatizadas, resistentes al cambio climático; seguras, energéticamente eficientes, más silenciosas; fiables, para una movilidad más eficaz; y con un concepto constructivo único, sea cual sea su categoría y



Esquema operativo de un centro de gestión y provisión de datos, Big Data



Esquema de funcionamiento del sistema de seguridad eCall (arriba)

Los distintos fabricantes de coches tienen muy claro que el futuro del automóvil y la interacción con la carretera pasa por conectarlo a los ordenadores, los smartphones que todos llevamos en el bolsillo (abajo izquierda)

Vehículos con sistemas inteligentes de ayuda a la conducción (abajo derecha)

ubicación. La idea final es que las carreteras requieran intervenciones mínimas para las reparaciones y ampliaciones, con una estructura de pavimento prefabricado que pueda acoger los elementos de automatización y de resistencia al clima.

- Carretera *adaptable* para mantenimientos futuros y condiciones cambiantes, que incluyan una subbase prefabricada con conducciones de drenaje y de comunicaciones; sistemas insertados y movibles de sensores del tránsito indicando las condiciones de la carretera; sistemas incorporados para mejorar y gestionar la capacidad de la infraestructura; red de almacenaje y transferencia de calor; infraestructuras con paneles de señalización variable; una superficie flexible, duradera, autolimpiadora, auto-reparadora, etc.
- Carretera *automatizada*, que incluya, entre otros elementos, sistemas de guía e interacción vehículo-carretera, con comunicación constante por radio y por satélite; servicio de avisos meteorológicos a partir de sensores del clima; sensores insertados en el pavimento para el control de velocidad y de salida de carril, etc.
- Carretera *resistente al cambio climático*, que aproveche la energía solar para evitar las placas de hielo, vegetación de margen para la absorción del CO₂, regada con aguas de escorrentía; dispositivos pluviales y drenaje; señalización electrónica e iluminación alimentadas por la energía captada; superficie porosa foto reflectora, etc.

CONCLUSIÓN

Ha pasado un siglo desde que los primeros vehículos de motor transitaran por las carreteras. El panorama ahora está dominado por la tecnología, que invade e interactúa en calzadas y automóviles. Los coches disponen de ordenadores capaces de marcar el rumbo correcto y de sistemas inteligentes que permiten una conducción más cómoda y segura, siempre que se utilicen correctamente. Las carreteras se llenan de paneles de información variable que proporcionan datos en tiempo real sobre su estado, y en las autopistas, ya es posible pagar el peaje sin necesidad de detenerse.

Y éstos son sólo algunos de los muchos avances que gracias a la informática y las nuevas tecnologías se han conseguido. La investigación camina en pos de lo que hace tiempo parecía imposible: sistemas anticolidión, que detectan si un vehículo circula demasiado cerca del que va delante, o que avisan al conductor si sobrepasa la velocidad permitida, o aquellos capaces de detectar si el conductor se encuentra en perfecto estado para conducir: somnolencia, abuso de drogas o alcohol, vehículos con conducción autónoma, etc, así como transformar la red viaria desarrollando el de carretera *adaptable*, *automatizada* y *resistente al cambio climático*.





Fotograma de la ciudad de Barcelona realizado por un vuelo americano en 1957

LAS CARRETERAS DESDE EL CIELO

LOS FOTOGRAMAS Y LA CARTOGRAFÍA MILITAR AMERICANA, 1943 - 1957

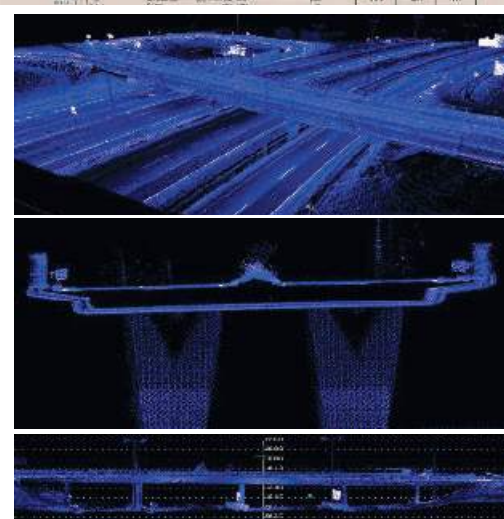
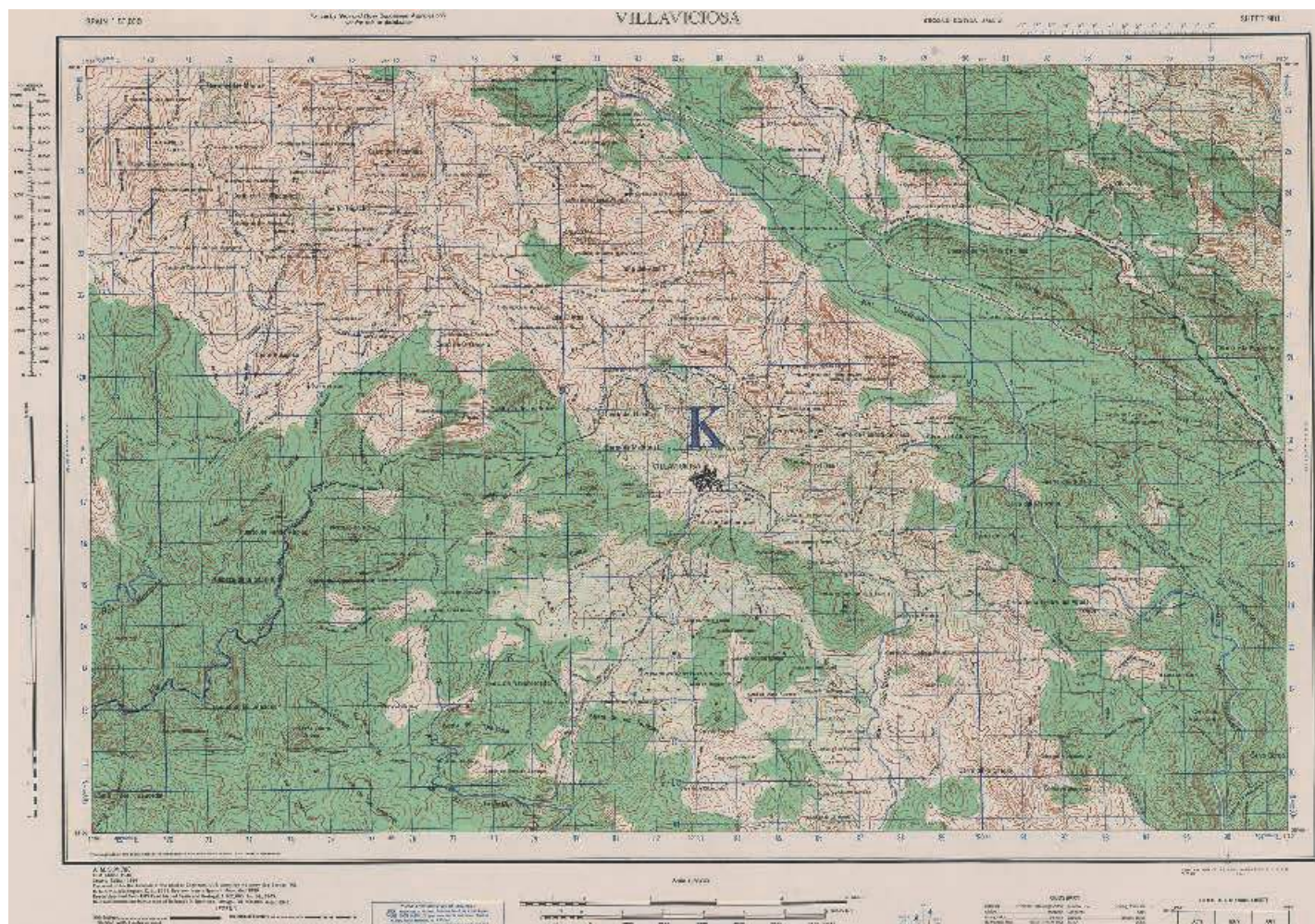
Los vuelos —los fotogramas y la cartografía topográfica— surgieron de la necesidad que tenían los Aliados de contar con una cartografía adecuada del territorio europeo, tras desembarcar en Normandía en junio de 1944. El proyecto se propuso en el mes de octubre de ese mismo año, pero no se pudo llevar a cabo hasta la derrota final de Alemania por el elevado número de aeronaves requerido.

Son las fuerzas aéreas de EE.UU. (USAF) y Reino Unido (RAF) las que diseñan el Proyecto Casey Janes, calificado como el Alto Secreto, para realizar un vuelo fotogramétrico de gran parte de Europa y norte de África. Los EE.UU. veían a España como un territorio clave por su incapacidad bélica y situación geoestratégica, por lo que tratarán de llegar a acuerdos puntuales en un equilibrio estratégico de acuerdos y hostilidades basados en la desproporción de fuerzas ofreciendo mejoras de aeropuertos y más tarde el propio vuelo fotogramétrico “Serie A”, a cambio de establecer una base aliada entre el inminente inicio de la llamada “Guerra Fría”

El vuelo de 1945-46 o Proyecto Casey Janes, debido a su antigüedad y amplia cobertura nacional, es el vuelo aerofotográfico de mayor interés histórico disponible en España y otros países europeos. Si bien su precisión métrica es menor que la de los vuelos de la década de los cincuenta debido a la cámara empleada y a su menor escala. Es la imagen aérea más antigua del país, de ahí su valor.

Gracias a los grandes avances llevados a cabo por el bando aliado en la tecnología para el reconocimiento aéreo durante la guerra, EE.UU. disponía de la logística necesaria para realizar un vuelo esteoscópico de precisión mediante navegación de los aviones, basada en estaciones receptoras fuera de España. Se estima que los EE.UU. realizaron más de 171 millones de fotografías aéreas durante este periodo. El vuelo (Serie A) empezó entre febrero y marzo del 1945, al principio sin contar con Franco, desviando los aviones estadounidenses de las rutas autorizadas acordadas en 1943 para el transporte militar entre Gibraltar e Istres en Francia; y posteriormente en una segunda fase desde febrero a septiembre de 1946 tras llegar a acuerdo con España, cuando ya conocían el proyecto, a cambio de ceder este material gratuito y permitir el control de los vuelos mediante cazas españoles. También se realizaron vuelos americanos (Serie B) en los años 1956-57.

Los trabajos se realizaron intensamente bajo condiciones poco idóneas, con un sistema de navegación que requería de un vuelo inicial en el que tras un largo proceso de cálculos se planificaban para los sucesivos días varias pasadas seguidas que debían de solaparse para crear los estéreos (visión en tres dimensiones).



Estos vuelos americanos sirvieron de base para la cartografía que se utilizó en los proyectos de carreteras que se desarrollaron en España principalmente, en las décadas de los 60 y 70. Se tenía por primera vez fotografías aéreas de todo el territorio español. Esta cartografía militar (Army Map Service), contenía más información y de mayor calidad, en aquellos años, que la proporcionada por el Instituto Geográfico Nacional de España.

LA ACTUALIDAD

El gran apoyo a la Ingeniería de Carreteras es el desarrollo de la Fotogrametría aérea moderna, las ortofotos, el empleo de nuevas herramientas a nivel mundial como son Google Earth y Google Maps y más reciente el empleo de cartografía aérea, móvil mediante tecnología láser (sistema instalado sobre aeronaves y vehículos) y la utilización de drones.

Estas nuevas tecnologías permiten obtener una ingente cantidad de información de muy alta calidad y georreferenciada, que nos permite estudiar con la máxima información posible el diseño y encaje óptimo de la infraestructura en el territorio.

En el caso de la cartografía mediante tecnología láser, los equipos (instalados sobre un vehículo o avión) permiten obtener una nube de puntos de alta densidad e imágenes de alta resolución 360° de la infraestructura, obteniendo un as-built geométrico en el caso de vías existentes (obras de fábrica, geometría de la plataforma, anchos de carril, pendientes, peraltes, geometría de los márgenes de la vía, etc.).

Esta completa información, obtenida con gran precisión, nos serviría de gran ayuda para el desarrollo de estudios y proyectos de nueva creación y de mejoras en las carreteras existentes. Toda esta tecnología viene facilitando enormemente el encaje y la elección del mejor trazado posible para una determinada carretera.

(pag. izquierda)

Plano cartográfico obtenido de un vuelo fotogramétrico americano. 1943

Vista de un tramo de carretera a través de la aplicación de Google Maps

Obtención de topografía mediante tecnología láser

Obtención de imágenes del inventario de los elementos de la carretera georeferenciados



LAS APLICACIONES DE LOS DRONES EN LA INGENIERÍA DE CARRETERAS

En los últimos tiempos están de constante actualidad los denominados Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS), también conocidos como UAV o simplemente DRONES. Gracias al uso de lo último en procesadores, controladoras, cámaras, tecnología, soft y sistemas GPS, las capacidades de control de la información de los diferentes sensores o cámaras instaladas en las aeronaves y como se procesan las mismas permiten una respuesta real y precisa.

Las posibilidades y aplicaciones en la ingeniería civil en general y en la ingeniería de carreteras en particular, son amplias y con mucho retorno: fotografía, topografía, filmaciones, cámaras térmicas, cultivos de precisión, control de obras, inspección de estructuras, mantenimientos de líneas eléctricas, sensores ambientales, etc.

El uso de los RPAS (drones) contribuye a la obtención de datos espaciales en un periodo corto de tiempo y con una alta resolución espacial a un coste reducido. Anteriormente a su aparición, todo dependía de la disponibilidad de los satélites, de aviones tripulados o de la cartografía a pie de campo.

Hoy en día las aplicaciones de los RPAS para cartografía y fotografías aéreas panorámicas (360°) son múltiples, abarcando diversos campos del conocimiento; el medio ambiente, la agricultura, las actividades industriales, el urbanismo, etc.



“Dron” preparado para el aterrizaje en tierra y en el mar. Debido a las grandes ventajas que proporcionan sus prestaciones, su uso es de particular interés para las fuerzas armadas en la inteligencia y misiones de vigilancia-reconocimiento.

Especificaciones técnicas: Envergadura: 3 m, longitud: 1,2 m, altura: 0,5 m; Velocidad de crucero: 100 km/h; Altitud: hasta 4.000 m, Peso máximo al despegue: 20 kg, Carga: hasta 8 kg, Autonomía: de 6 a 12 h, Alcance operación: 80 km, Alcance grabación video: 70-90 km.

Este modelo de dron es capaz de operar en condiciones meteorológicas adversas, soportando vientos de hasta 80 km/h. Puede ser desplegado en cualquier lugar, incluso lanzado y recuperado a bordo de un barco.

Enumeraremos a continuación algunas de las principales aplicaciones que se están realizando en la actualidad:

- Aplicaciones cartográficas

El uso de DRONES permite la obtención de muchos datos en un corto espacio de tiempo y lo más importante con una alta resolución y coste reducido, ya que el hecho de no depender como antiguamente de satélites o aviones tripulados o de cartografía realizada a pie de campo acorta mucho todo el proceso de obtención de datos.

Las aplicaciones actuales no se centran solo en la topografía, sino también en el medio ambiente, agricultura y otras actividades industriales, la única limitación actualmente es que solo se permiten en campo abierto y no se pueden realizar en zonas urbanas. Esto se une a la obligación de operar, a veces, en condiciones visuales y meteorológicas adversas con lo que limita su aplicación. Esto no quita que con la reglamentación actual siguen siendo una apuesta con más ventajas que inconvenientes.

- Control de obras y Evaluación de impactos

La utilización de los DRONES para estos trabajos, permite hacer de una forma sistemática, precisa, rápida y económica seguimiento de las obras ya sea para obten-



Imagen durante la obra y superposición de la imagen virtual del proyecto definitivo

ción de certificaciones y proyectos, como para el seguimiento visual del proceso constructivo mediante la realización de vuelos regulares que permitan la obtención de datos precisos a lo largo del tiempo.

La fácil obtención de estos datos, tanto por su calidad, precisión, cantidad y el análisis en series, hace de los drones una herramienta muy apropiada para el control de obras y el seguimiento de las mismas.

La variedad de accesorios a acoplar al DRONE permite gran variedad de datos, cámaras térmicas, sensores, filtros.... Estos elementos nos permiten seleccionar o aislar datos térmicos, de profundidad, de materiales...

Los resultados asociados a ellos son las fotos normales, vídeos 360°, panorámicas, etc.

- Inspección de edificios o estructuras

Las fotografías, videos y la fotogrametría de objetos cercanos, permiten el levantamiento geométrico y construcción 3D de edificios, estructuras, restos arqueológicos. A partir de estaciones totales en tierra y los datos obtenidos desde el DRONE, permite crear “nubes de puntos” que definen la topografía base para realizar el estudio.

La gran ventaja es que las texturas se crean directamente a partir de las fotos obtenidas. Tanto fotos como los nuevos videos 360° permiten de una forma fácil la valoración del estado de la infraestructura o línea eléctrica.

- Agricultura y masas forestales

En este sector los DRONES son una alternativa, tanto desde el punto de vista técnico como económico, frente a sensores aerotransportados y los satélites ya que para áreas normales de estudio la resolución de DRONE y sus datos son mucho más precisos que los anteriores.

Si lo que queremos es teledetección a lo mejor se tiene que desarrollar metodologías de trabajo adaptadas a los nuevos datos obtenidos con estos apartados.

- Calidad del Aire

Una preocupación de todas las Administraciones es el control del aire ya que los contaminantes atmosféricos producen efectos en las personas. La aportación en este campo ha sido un avance muy grande, ya que las lecturas que permite el posicionamiento de drones hacen que la obtención de datos sea mucho más fácil y menos costosa. Un ejemplo podría ser la medición de la capa de ozono en diferentes lugares geográficos.



Dos ejemplos de la ampliación de un tramo de carretera. Imagen real (izquierda) y composición virtual (derecha)

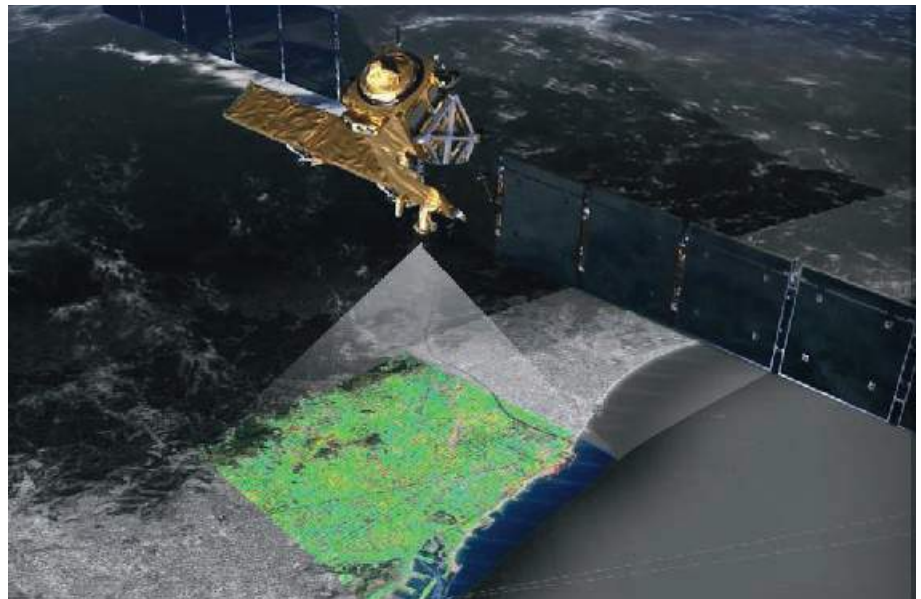


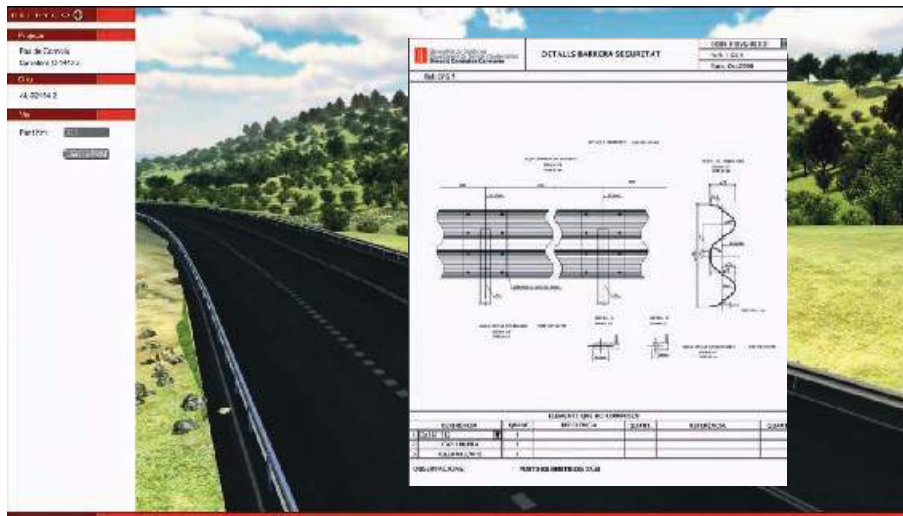
Otro de los avances de la fotografía por satélite es la “Tecnología satelital para controlar el movimiento del terreno”. Se trata de la obtención de imágenes/ mapas de movimiento del terreno generados con imágenes de satélites radar mediante la tecnología InSAR (interferometría de radar de apertura sintética). Los desplazamientos medidos en la superficie terrestre usando esta técnica tienen una precisión milimétrica, un rango de medida desde el milímetro hasta el metro y abarca zonas de control de 50x50 kilómetros con una gran densidad de puntos de medición.

Ya existen satélites radar adquiriendo imágenes desde 1992, en algunos casos casi ininterrumpidamente para ciertas áreas, lo que permite llevar a cabo estudios históricos de la deformación del terreno con estas imágenes de archivo. Gracias a ello, puede conocerse la historia del movimiento del terreno, evaluar su estabilidad antes de que empiecen las obras de construcción y su seguimiento en las fases de conservación y explotación de la infraestructura.

Esta tecnología ya se ha empleado en ámbitos de grandes infraestructuras, por ejemplo, la Línea de Alta Velocidad de Madrid a Barcelona.

Control del movimiento del terreno a través de la tecnología de fotografías por satélite





Imágenes virtuales del inventario interactivo, en el proyecto de mejora de la carretera en el tramo de Pas de Comiols. Cataluña, 2013 (arriba)

Imágenes virtuales del inventario interactivo de las infraestructuras de Barcelona (abajo)

HERRAMIENTAS INNOVADORAS. EL PROYECTO VIRTUAL

Últimamente, estamos incorporando a los proyectos un sistema innovador. Se trata de una visualización (inventario) interactiva y seguimiento del desarrollo del proyecto en tiempo real.

El sistema interactivo consiste, en general, en una “maqueta” del trazado, virtual e interactivo de uso sencillo, unificado e inteligible de la carretera para representar/visualizar la ingente información técnica que genera el proyecto.

Se pueden asociar diferentes bases de datos a los elementos tridimensionales, como pueden ser: gestión interactiva del inventario de los elementos de la carretera (estructuras, firmes, señalización, barreras de seguridad, etc.), representación del impacto acústico de la carretera, etc., y de esta manera obtener una visualización interactiva de las características técnicas de todos estos elementos de la carretera proyectada.



Simulación interactiva de los niveles sonoros (decibelios reales) en un tramo de la Autovía de Castelldefels, C-32. Barcelona

BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

El crecimiento de la demanda de proyectos con requisitos BIM es una tendencia internacional. BIM es el acrónimo de *Building Information Modeling* y se refiere al conjunto de metodologías de trabajo y herramientas caracterizado por el uso de información de forma coordinada, coherente, computable y continua; empleando una o más bases de datos compatibles que contengan toda la información en lo referente al elemento que se pretende diseñar, construir o usar.

Dentro del marco europeo, el gobierno británico publicó en mayo 2011, la Estrategia Nacional de Construcción que introdujo la aplicación del BIM como requisito para la adjudicación de proyectos gubernamentales de construcción de valor superior a 5 millones de libras. El ejecutivo anunció su intención de exigir la introducción del BIM en todos los proyectos a desarrollar a partir de 2016. Por otra parte, la Directiva europea 2014/24/EU introduce el uso de BIM en licitaciones públicas para todos sus Estados Miembros. En España la implantación de BIM en proyectos de infraestructuras, se encuentra en una fase muy inicial y son pocas las experiencias realizadas hasta la fecha. Desde la Administración se está promoviendo la implantación de la metodología BIM en las licitaciones públicas a través de la inclusión de requisitos BIM en las mismas, fijando como obligatoria la adopción de esta metodología para los proyectos de Edificación en diciembre de 2018 y para proyectos de Infraestructuras en julio de 2019.

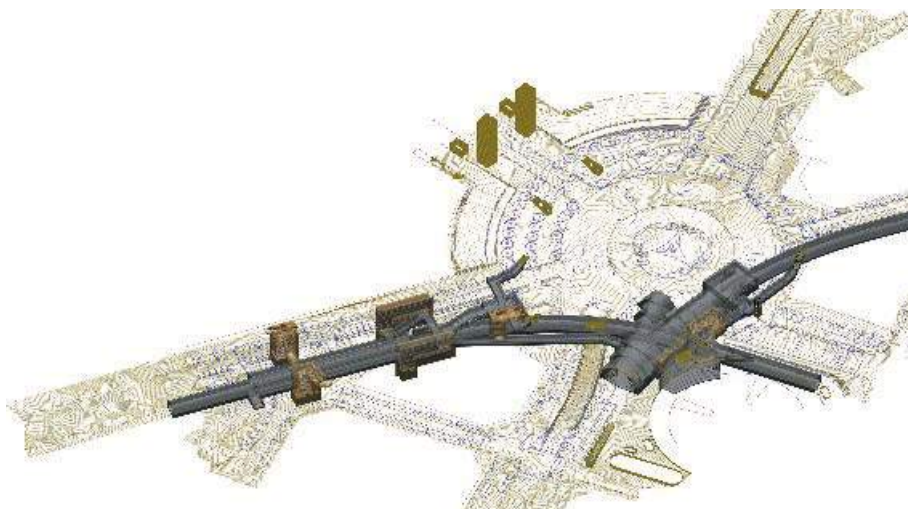
Hasta ahora el diseño de infraestructuras ha mantenido un enfoque tradicional, aunque cabe destacar que el modelado, la visualización 3D y el análisis no es nada nuevo para los profesionales del diseño de carreteras y autopistas. La diferencia es que, con los enfoques tradicionales centrados en el dibujo, diseño, análisis y documentación, estos procesos permanecen desconectados, mientras que los mismos, dentro de un flujo de trabajo BIM se conectan dinámicamente, integrando, además dos de los elementos críticos en la ejecución de un proyecto: la planificación (4D) y el coste (5D).

La visión y aplicación del concepto BIM en proyectos de carreteras, completará el ciclo de vida de las infraestructuras, permitiendo gestionar desde las distintas fases de los estudios y proyectos (interactuando entre todos los documentos que conforman el proyecto) hasta su construcción, incluyendo entre otras, la organización del tráfico en fase de obra, *temporary works*, etc... y la posterior gestión del mantenimiento y explotación de la vía, ya que los modelos generados con esta metodología, incluirán los parámetros y datos necesarios para cada etapa del proceso, facilitando la eficiencia de los mismos y con ello la competitividad.

(pág. derecha)

Imágenes virtuales del intercambiador de Plaza España del Metro de Barcelona, realizado con el sistema BIM. 2016

Imágenes virtuales de una infraestructura viaria con el sistema BIM





REFLEXIONES PARA COMPARTIR

Principales actuaciones que se podrían adoptar en la red viaria, entre las que se puede destacar:

- Planes Estratégicos. Programas de modernización de la red viaria. Objetivos:
 - Mejora continuada;
 - Homogeneización de los parámetros de la Red;
 - Proporcionar un nivel de servicio adecuado en condiciones de seguridad, comodidad y fluidez.
- Programas de mejora de la intermodalidad logística: “camión-tren-barco”. Mejora de los accesos viarios a los principales puertos y plataformas logísticas.
- Con la finalización de varias concesiones de autopistas de peaje en los años 2019 y 2021, posibilidad de utilizar estos itinerarios, ya libres de peaje, en lugar de construir nuevos corredores.
- En las vías de acceso a las grandes ciudades, potenciar el transporte colectivo con la implantación de carriles “bus/VAO” no segregados, utilizando la plataforma existente, carriles de 3,20 metros de ancho y velocidad limitada a 80 kilómetros/hora. Ventajas: coste-beneficio.
- Posibilidad de implantar la barrera “dinámica” de separación de sentidos del tráfico, para aumentar la capacidad y fluidez en función de la hora punta, en los accesos a las grandes ciudades.
- Implantación de carriles exprés, de pago compartido con carriles gratuitos, en vías de alta capacidad. Control con lectura de matrícula. Posibilidad de que esta modalidad pudiera servir para financiar el mantenimiento de dicha red.
- Utilización de la infraestructura de canalizaciones de la red de postes S.O.S., en desuso, como red de comunicaciones de las carreteras “inteligentes”: sistemas de sensorización y captación de datos. Suministrar información al usuario en tiempo real. Posible red de alimentación de plataformas para el coche eléctrico.



MONUMENT VALLEY, U.S. ROUTE 163, UTAH

A ROAD WITH A VIEW

JORDI MORELLÓ SECANELL

El desarrollo de la historia siempre ha estado ligado a la evolución de los medios de transporte y a la necesidad del ser humano de desplazarse. Desde trayectos a pie y con carruajes por caminos salvajes, multitud de embarcaciones navegando por los mares, ferrocarriles cruzando largos territorios, hasta aeroplanos que recorren el cielo. Todos ellos con el simple objetivo de ir de un lugar a otro con el mínimo tiempo, la mayor comodidad y con las máximas facilidades posibles.

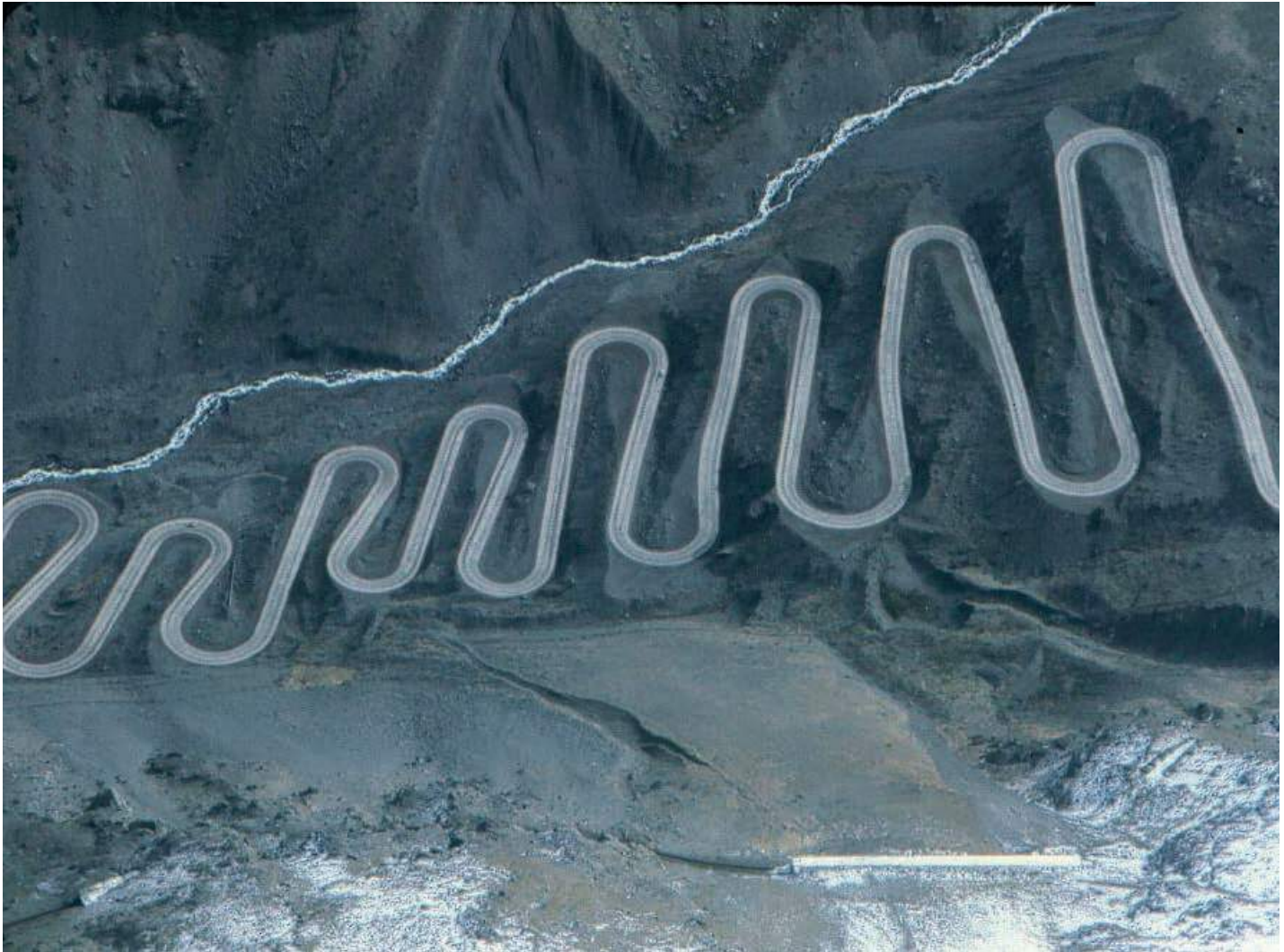
Con la asimilación del automóvil como principal medio de transporte a nivel de usuario la carretera se ha convertido en la infraestructura más desarrollada y utilizada disponiéndose por multitud de territorios y paisajes. En la sociedad moderna, la carretera, más allá de su función como mero desplazamiento se ha convertido en un reclamo para el ocio, una actividad recreacional de la que disfruta todo viajero. La función paisajística pasa a ser un elemento fundamental de la carretera tanto para aquellas que son un atractivo turístico como también para las que se usan como simple sistema de transporte, y es que una percepción y experiencia visual favorable del conductor durante el trayecto supone un viaje seguro y confortable.

Así pues, la integración de una carretera en el territorio controlando su impacto visual es un factor clave en el desarrollo de ésta como paisajística para que se pueda disfrutar tanto del viaje como del paisaje y se convierta en un atractivo turístico. Durante el recorrido los usuarios deben entender el entorno, el territorio y el paisaje por el que circulan. La implementación de estos elementos en el trazado define y pone en alza el valor paisajístico del lugar, dotando de una identidad y un carácter único a la carretera que rompe con la monotonía que ofrecen muchas vías independientemente del lugar por donde discurren.

Con la intención de potenciar el paisaje y convertir las carreteras en un reclamo turístico, en este capítulo se exponen los planes y proyectos promovidos por los gobiernos de Noruega, Francia y Holanda.



Disfrutar una carretera implica no sólo gozar del paisaje sino también sentir y experimentar el entorno por el que se circula. Es imprescindible la integración del trazado en el territorio para fortalecer la identidad del lugar, lo que implica una armonía entre la geometría de la carretera y del terreno por donde discurre.



La Overseas Highway es una prolongación del continente americano, en el sur de Florida, donde sus aproximadamente 200 kilómetros de longitud en línea recta permiten disfrutar de un paisaje paradisíaco de islas tropicales sobre el golfo de México.

Por otro lado, la cuesta de Los Caracoles del Paso de los Libertadores, en la frontera entre Chile y Argentina, ofrece una visión única del paisaje a través de un sinfín de curvas vertiginosas que escalan la montaña hasta los 3.209 metros de altitud.

CARRETERA DE TROLLSTIGEN, NORUEGA

clontsehorweger
geiranger-trollstigen
genle-dryasfjellvegen
gautefjellet
outlandsfjeller
hardangervidda
ryfylke
lærdal
høylandskysten sør
høylandskysten nord
fjellvegen
andøy
verdal
trondheim



Noruega siempre ha sido un país con un gran valor paisajístico gracias a la riqueza en forma de naturaleza que sus bosques, montañas, ríos y fiordos desprenden. A pesar de esto, el desarrollo turístico no era suficiente para equipararse con otros países, lo que llevó al gobierno a buscar ideas innovadoras que potenciasen el paisaje que les rodeaba así como la economía local.

De este modo nació en 1998, a través de la Administración de Carreteras de Noruega, el plan de las Rutas Turísticas Nacionales. La iniciativa pretendía promover el turismo focalizando la propia carretera como objeto de reclamo, la ruta debía ser el atractivo que todos quisieran experimentar. ¿Pero, cómo lograr una red de carreteras paisajísticas única y de gran valor que se distinga de las demás? La respuesta está en el concepto de integración de la carretera con la naturaleza, la arquitectura y el arte. Potenciar el uso de las carreteras debidamente integradas en el paisaje con el diseño arquitectónico y artístico de elementos vinculados a la propia carretera hará que éstas se conviertan en una especie de museo nacional que todos querrán visitar.

Áreas de descanso y hoteles cuidadosamente proyectados, apartaderos y aparcamientos acertadamente integrados, torres de observación y miradores estratégicamente dispuestos, o puentes y esculturas sensiblemente diseñados, son elementos que dotan a la carretera de diferentes puntos de interés visual a lo largo del trayecto actuando como hitos; son la arquitectura de la carretera que provoca los estímulos necesarios para disfrutar del viaje, evitando un trayecto aburrido y convirtiéndolo en una experiencia sensorial para los usuarios.

Desde el inicio, el ambicioso proyecto nacional sentó sus bases sobre la calidad de las obras a realizar, que debían estar definidas por criterios estéticos y paisajísticos. Con lo que se cedió a arquitectos y artistas el liderazgo para gestionar y proyectar los ámbitos de mayor interés. Potenciar el valor del entorno, respetándolo con actuaciones mínimas pero proyectando obras de calidad fue el reto para el que fueron seleccionados una nueva generación de arquitectos y artistas.

Así, se forjó el exitoso modelo de diseño de carreteras en Noruega, en el que se seleccionaron 18 rutas para formar parte del plan, donde las vistas, el paisaje, la arquitectura y el arte se funden con la carretera para crear nuevas experiencias.



Uno de los lugares más privilegiados donde el viajero se puede tomar un respiro es en los miradores de Trolligsten. Bajo una escalinata, la mayor plataforma de hormigón asoma sobre el valle del fiordo Geirangerfjord, un paraje natural reconocido por la UNESCO como Patrimonio de la Humanidad.



Por la ruta de Gaularfjellet se conduce siguiendo el curso natural del agua, lo que permite al viajero disfrutar de multitud de montes y cascadas que se suceden a lo largo del viaje sintiendo la naturaleza sobre el asfalto de la carretera. El área de descanso de Utsikten supone el colofón del recorrido, gozando de una magnífica panorámica a lo largo de 1.500 metros.



El mirador de Stegastein, en la ruta de Aurlandsfjellet, es un claro ejemplo del éxito del plan de carreteras noruego. En un entorno con un alto valor paisajístico pero poco frecuentado por su difícil y limitado acceso debido a las fuertes condiciones meteorológicas, el diseño de esta plataforma de 30 metros y a 650 metros sobre el agua, ha abierto un hueco hacia la naturaleza que ha convertido esta carretera en uno de los lugares más visitados del país.



La ruta entre Geiranger y Eidsdal contiene numerosas curvas que se suceden y hacen necesaria la parada del viajero. En lo alto de la ladera, la sencillez de Ørnesvingen es llevada al máximo exponente ofreciendo un espacio agradable donde hacer una pausa disfrutando de los encantos del valle antes de emprender el viaje.



En el extremo norte del país la carretera de Havøysund recorre distintas aldeas de pescadores a lo largo del Océano Ártico. Antes de llegar al último pueblo se puede admirar la obra del área de descanso de Selvika, una escultura de hormigón con geometrías serpenteantes que se adentra en la playa rodeada por restos del Neolítico.



La Carretera del Atlántico forma parte de uno de los tramos más espectaculares del mundo uniendo las localidades de Kristiansund y Molde a lo largo de 8 kilómetros de arrecifes e islotes. Su proximidad con el océano permite vivir intensamente la experiencia del viaje, donde se puede disfrutar de las vistas a 360° en los días soleados de verano o sufrir los azotes de las tormentas en invierno.



La combinación de paisaje que mezcla escarpadas montañas sumergiéndose en las aguas del océano, con las playas de arena blanca y aguas cristalinas rodeadas por pequeños pueblos pesqueros define la ruta de Lofoten, al Oeste del país. Allí se encuentra Eggum, un área de descanso en forma de anfiteatro, en la isla de Vestvågøy, donde se reúnen multitud de visitantes para experimentar el sol de medianoche.



Después de interminables cuestas desde la orilla del mar uno puede relajarse en el área de descanso de Flotane, un complejo con aparcamiento para admirar la belleza de los glaciares a 1.200 metros de altitud, en la carretera de Aurlandsfjellet. Sólo se dispone de un refugio de hormigón, que con dos baños y un cuarto técnico de apenas 20 m² se alimenta a través de paneles solares situados en la parte delantera, lo que justifica su inclinación.



En Francia con la construcción de las primeras carreteras de la red viaria, entre las décadas de 1960 y 1980, aparecieron también las primeras áreas de servicio. La mayoría fueron diseñadas básicamente para subministrar combustible mientras que algunas ofrecían además un pequeño espacio de parada para camiones y viajeros de largo recorrido.

Hoy en día, el sistema de autopistas francesas cuenta con unos 11.000 km que atraviesan todo el país, y con él, la Dirección de Infraestructuras del Transporte impuso la necesidad de un ámbito de parada cada 60 km. Esta medida, dispuesta para mejorar la conducción y reducir la siniestralidad ofreciendo mayor comodidad al usuario, hizo que las áreas de servicio se extendieran por el territorio ofreciendo además de combustible, espacios para comer, relajarse y descansar.

Pero fue en el 2012 cuando el concepto de área de servicio se reinventó a través del programa integral para su remodelación y modernización, impulsado por el grupo VINCI Autopistas mediante una concesión con el estado para gestionar la red de carreteras. Se rediseñaron áreas de servicio existentes y se proyectaron nuevas con la idea de crear distintos núcleos de actividad, centros lúdicos además de funcionales, que refuerzan la red viaria y son un reclamo turístico para el viajero. Con esta lógica se han proyectado complejos y edificios de distintas temáticas vinculadas a su entorno, creando una nueva cultura alrededor de las carreteras.

Encontramos áreas de servicio diseñadas como centros comerciales dónde las grandes marcas compiten para multiplicar los puntos de venta; otras, rodeadas de naturaleza que ofrecen alojamiento y actividades de ocio para disfrutar de bosques y lagos; también las hay con zonas deportivas, recreativas, parques infantiles, museos e incluso se organizan talleres y actividades para todas las edades.

Por lo tanto la incorporación de este modelo en las carreteras francesas ha logrado fortalecer la propia infraestructura con un nuevo símbolo de identidad nacional, potenciar el turismo del país, así como estimular la economía local a través de nuevas inversiones.



En la región de Rhône-Alpes se encuentra un paraje natural de montañas escarpadas que rodean una sucesión de pantanos de origen glaciar. Entre el lago Nantua (140 hectáreas) y el de Sylans (50 hectáreas), el Aire de repos du Lac Sylans se convierte en el centro neurálgico donde se reúnen multitud de visitantes para disfrutar de caminatas y actividades náuticas.





Como si de la terraza de un castillo se tratara, el Aire Jardins des Causses du Lot, en la autopista A20, se prolonga hacia la el parque natural dejando atrás su fachada acristalada para que el viajero sienta el poder de la naturaleza de primera mano. Las vistas presididas por el Lago Bhután se diluyen a través de bosques de moreras, higueras, cipreses y lirios tradicionales del valle de Lot para dar entrada a la región de Midi-Pyrenees.





El Aire de Port Lauragais, en pleno Canal du Midi, que une Toulouse con el mar Mediterráneo a lo largo de 240 kilómetros, es una de las áreas de descanso más emblemáticas de las autopistas francesas. Navegantes y turistas de todo el país recorren largas distancias para disfrutar aquí de sus vacaciones, ya sea a bordo de una embarcación, relajándose con excursiones en bici y a caballo, o deleitándose con la gastronomía local.





En la autopista A16, entre París y Calais, el Aire de Baie de Somme se muestra como un escaparte ante la mirada de los conductores. El compromiso con el medio ambiente, la elegancia del diseño con materiales naturales, la integración en el entorno y la producción de energía sostenible a través de la torre eólica son una referencia para toda la región.



La zona del parque infantil, el mirador hacia las playas y los paseos entre juncos y árboles añejos sobre los estanques ofrecen una bocanada de aire fresco para los conductores, una invitación a viajar.



En otros países, también destacan proyectos de áreas de descanso por su integración y compromiso con el medio ambiente además de potenciar los recursos locales. En Holanda, el área de descanso de Texaco Kruibeke es el símbolo de la innovación, la sostenibilidad y el progreso. Empleando nuevas tecnologías, sistemas constructivos y materiales se consigue un diseño orgánico que transmite la paz y tranquilidad necesarias frente a la estricta y ruidosa autopista lineal.



Es el caso también de Gloucester Gateway, en la autopista M5 de Inglaterra, donde un edificio se esconde bajo una cubierta vegetal de 4.000 m² en un entorno prácticamente virgen. El insólito lugar en el que simplemente un autopista pasaba de largo, se ha convertido en un punto de parada obligatoria donde agricultores y granjeros de la zona exportan sus productos artesanales, lo que conseguido dinamizar la economía local notablemente.



Otro proyecto que destaca por su sencillez y originalidad es el del área de descanso 40 pies, en la autopista española CV-10 a su paso por Cabanes, Castellón. Con una construcción rápida y económica a partir de contenedores marítimos se ha conseguido un diseño moderno que llama la atención de los viajeros.



La majestuosidad y elegancia del área de descanso australiana de Calder Woodburn, en la autopista Goulburn Valley de Arcadia, también cautiva a los conductores convirtiéndola en un espacio de referencia. Tomarse un respiro, la excusa perfecta para admirar una obra de arte.



BREEZANDIJK, AUTOPISTA A7, HOLANDA

El gobierno Holandés, a través del Ministerio de Industria y Medio ambiente, que gestiona también el sistema de carreteras nacionales, las vías fluviales y el suministro de agua, viendo cómo la transformación descontrolada del paisaje en las inmediaciones de las carreteras provocaba un desorden en el entorno y en la propia carretera, decidió crear en el 2008 el plan de Diseño de Rutas de Carreteras.

El plan pretende controlar y desarrollar las nuevas iniciativas económicas locales potenciando el valor de la carretera así como del paisaje que la rodea. Las carreteras son el lugar público más visitado, y es aquí donde se deben ofrecer los atractivos y las oportunidades para llamar la atención con una buena impresión. Son el reclamo holandés, y por eso, carretera y paisaje tienen que estar bien proyectados e integrados.

La planificación de la infraestructura, desde el trazado por donde discurre hasta el diseño de sus elementos, tales como barreras contra ruido, iluminación, señalización o elementos de protección; junto con la ordenación del entorno, ya sean obras asociadas o la propia vegetación son las claves del éxito de la iniciativa.

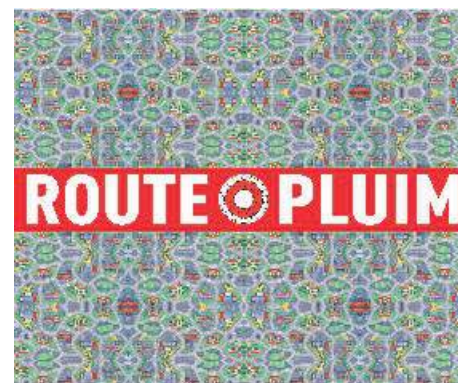
Y es que el conductor no solo debe sentirse cómodo y seguro durante el trayecto sino que además debe disfrutar y experimentar el lugar por el que circula. La visión controlada en los diferentes tipos de paisaje debe reforzar su identidad, tanto en zonas urbanas como rurales.

Así, el paso de la carretera por la ciudad viene acompañado, entre otros elementos, de pantallas acústicas para resguardar las edificaciones próximas y protecciones para los peatones, mientras que en su paso por el campo prácticamente carece de estas medidas para poder disfrutar al máximo del paisaje.

De este modo, a través de la estrecha relación entre carretera y paisaje, junto con la colaboración de diferentes agentes locales se consigue una nueva mirada que mejora la calidad ambiental de los recursos naturales del entorno y garantiza la calidad espacial de la propia infraestructura.

Cuatro han sido los proyectos de referencia para determinar los criterios de diseño que dan la unidad, cohesión e identidad necesarios para desarrollar el plan:

- Ruta migratoria, es la autopista A2 que une Amsterdam con Maastricht. Se caracteriza por cruzar grandes ciudades y grandes paisajes en espacios reducidos. Así que, su objetivo es el de reforzar el contraste entre las zonas urbanas y rurales definiendo sus límites para evitar que ambos paisajes se fundan en uno.
- Ruta del arco iris, es la autopista A12 desde Den Haag a De Liemers. Dispone de toda la gama del paisaje holandés. Desde la ciudad densificada hasta los bosques vírgenes, pasando por las áreas mixtas en constante transformación y los prados de cultivo. Con toda esta variedad, las soluciones aplicadas deben garantizar la continuidad del recorrido y potenciar la identidad cada tramo.
- Ruta panorámica, es la autopista A27 que conecta Almere y Breda. Recorre una gran cantidad de espacios naturales. Su trazado siempre mantiene las distancias respecto al paisaje y la ciudad, interviniendo lo mínimo en el entorno y en la propia carretera, para poder disfrutar al máximo de las vistas a lo largo de todo el trayecto. La autopista se presenta como una invitada del paisaje.
- Ruta del delta, es la autopista A4 que enlaza Amsterdam con Amberes. Atraviesa una gran diversidad espacios en largas distancias. Los grandes centros metropolitanos se conectan a través de zonas extensivas de polders y centros logísticos como el puerto, el aeropuerto y el corredor ferroviario. La autopista se caracteriza por la alternancia entre tramos lentos, para contemplar el paisaje, y tramos rápidos en las zonas industriales; así como por la gran cantidad de conexiones transversales que lo cosen con el entorno mas inmediato.



Documento nacional para el Diseño de Rutas de Carreteras.



Del mismo modo que edificios, parques, carreteras, e infraestructuras requieren de una planificación que garantice su funcionalidad e integración en el territorio, los nuevos elementos derivados de las energías renovables también deben ser considerados. En la autopista A6, el parque eólico de Lelystad - Meeuwentocht se dispone junto al trazado viario creando un corredor energético a lo largo de la autopista.



La estrategia utilizada en el Leidsche Rijn de Utrecht para proteger esta zona urbana frente a la contaminación acústica derivada de la autopista A2 ha sido la construcción de un complejo de edificios, Facet (oficinas), The Wall (centro comercial) y Hessing (concesionario de coches), que además de actuar como una barrera lineal de 1,5 kilómetros frente al ruido de la infraestructura viaria y garantizar las condiciones necesarias de confort para la ciudad, son un reclamo para los conductores.



Otro concepto de arquitectura junto a la autopista es el del edificio de ING en la A10 al sur de Amsterdam. Por un lado, el volumen aerodinámico y levantado sobre el suelo está concebido para ser visto en movimiento desde la carretera, mientras que por otro, los usuarios disfrutan de las vistas de la ciudad a través de la fachada acristalada que también los aísla del ruido y contribuye en la gestión energética del edificio.



La regulación del uso y el diseño de las barreras acústicas es uno de los pilares en el plan nacional para controlar la gran cantidad y heterogeneidad de soluciones empleadas. El objetivo de la iniciativa es mantener la libertad de diseño garantizando la máxima integración en el territorio y el mínimo impacto visual. La protección acristalada de Nieuwe Leeuwarderweg, en Amsterdam, lo consigue diluyéndose con la vegetación que lo rodea.



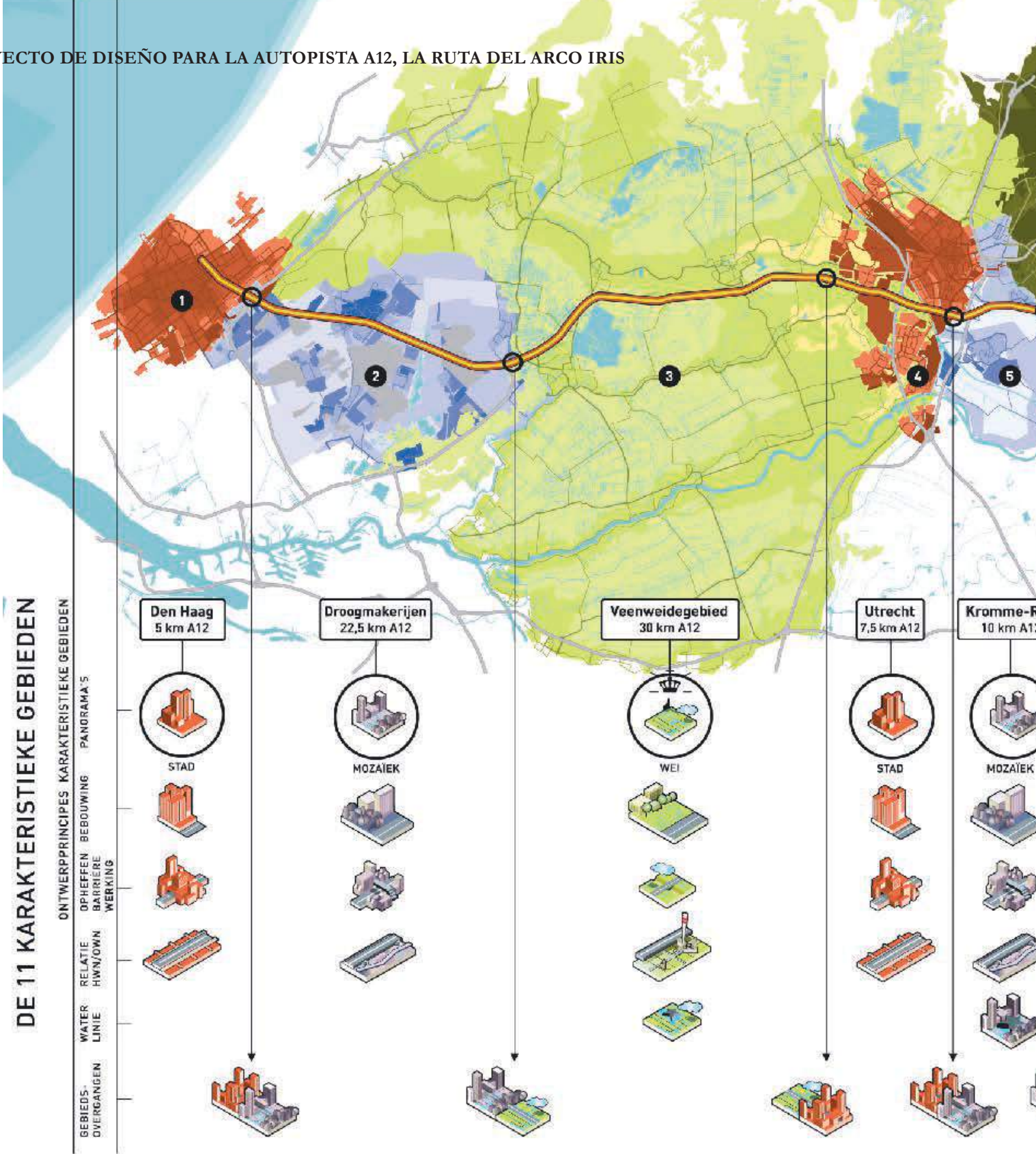
En España también se emplean soluciones similares pioneras en carreteras, como las pantallas antiviento del Puente de la Constitución de 1812, en la bahía de Cádiz. Con un diseño aerodinámico de 3 metros de altura debidamente estudiado y sin necesidad de ningún paramento continuo, mantienen la integridad de los conductores frente a la fuerte incidencia del viento de levante permitiendo la visibilidad en ambos lados del viaducto.

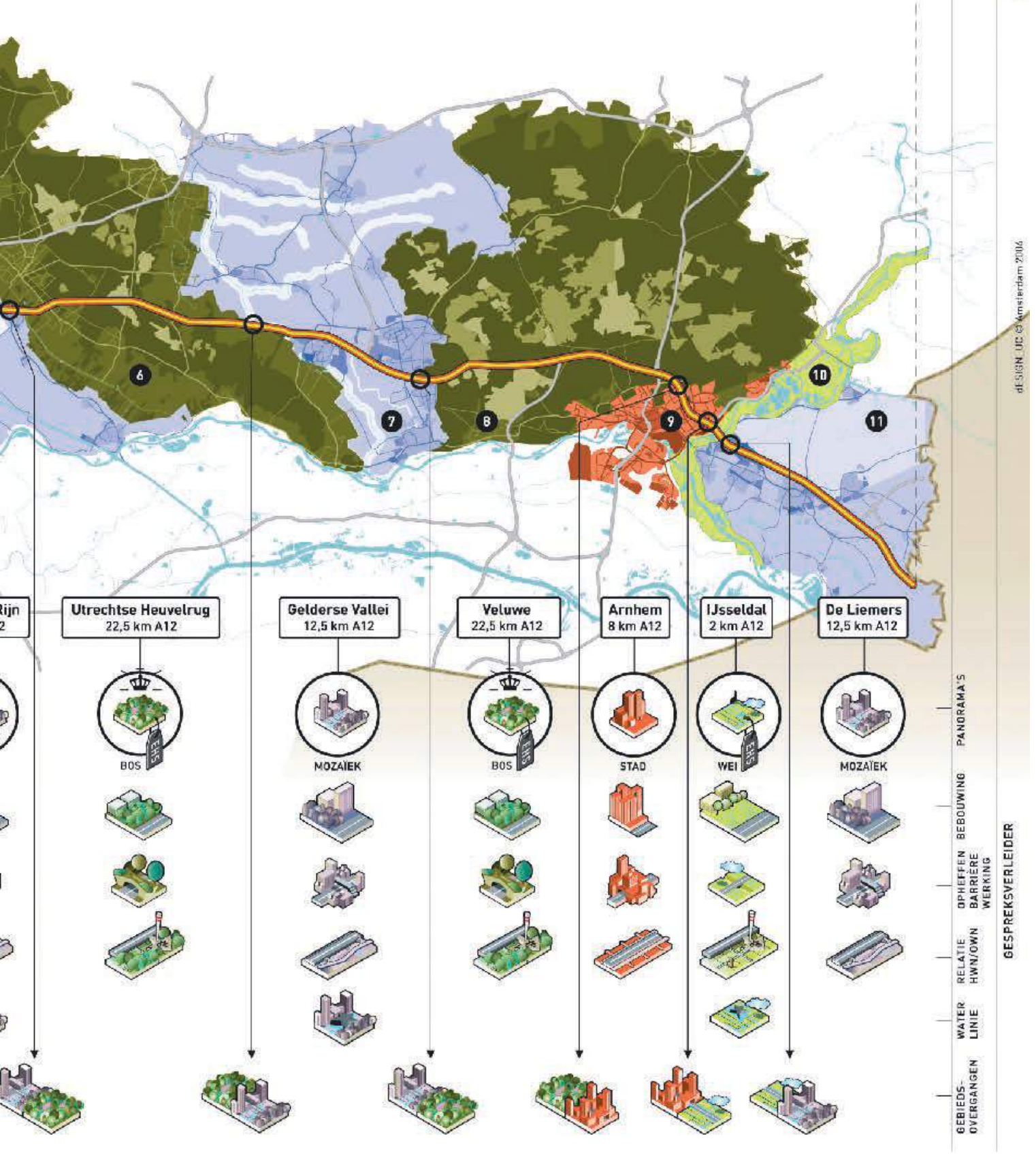


La inmensa presencia de agua en el paisaje neerlandés implica una multitud de intersecciones entre las distintas infraestructuras que deben ser resueltas evitando grandes nudos para que el territorio permanezca prácticamente inalterado. En el acueducto Ringvaart Haarlemmermeer de la A4, la autopista y el trazado ferroviario siguen su recorrido bajo el canal como si este no existiera.



Gracias a esta necesidad surgen fascinantes obras de arquitectura e ingeniería como la del Acueducto de Veluwemmer, en Harderwijk, donde la apertura de 25 metros de largo, 18 metros de ancho y 3 metros de profundidad sobre el tráfico rodado permite la navegación de embarcaciones entre ambos lados del lago.





GESPREKSVERLEIDER

GEBIEDS-
OVERGANGEN
 WATER-
LINIE
 RELATIE
HWN/OWN
 OPHEFFEN
BARRIÈRE
BEBOUWING
WERKING
 PANORAMA'S



CARRETERA Y CIUDAD

JOAN MORENO SANZ

1. INTRODUCCIÓN

Una encuesta realizada por el Ministerio de Obras Públicas de los Países Bajos en 2001 revelaba que el espacio público de mayor uso ciudadano era la red viaria. Los altos niveles de congestión circulatoria en la red nacional de autopistas como consecuencia de una red secundaria ineficiente y un patrón disperso de desarrollo urbano, obligaba a los usuarios de la red a invertir gran parte de su jornada en el desplazamiento entre el hogar y el lugar de trabajo y/o estudio. Además, la encuesta ponía de manifiesto un cierto descontento social hacia la calidad paisajística del entorno de la carretera. El caso neerlandés evidenciaba la necesidad de una integración efectiva de las políticas de movilidad y ordenación espacial que haga compatibles el derecho a la movilidad y el derecho a la ciudad.

En las últimas décadas, el derecho a la movilidad se ha reivindicado como uno de los principios ciudadanos fundamentales para evitar las dinámicas de segregación social, derivadas de la dependencia del vehículo privado. Una aproximación crítica al papel que la carretera juega en el desarrollo urbano exige por lo tanto, una visión global que integre pero supere al automóvil. En este sentido, es necesaria una visión sistémica del territorio de las redes, de transporte y urbanas, que favorezca el intercambio modal entre los diferentes modos de desplazamiento. Redes de transporte integradas que hagan compatible el transitar con el habitar.

Por otra parte, el derecho a la ciudad reivindica una vida urbana de calidad en equilibrio con el medio rural, es decir, una ciudad entendida como el proyecto espacial y social de la comunidad humana que la habita. Uno de los criterios fundamentales en la consecución de es el factor de proximidad, en favor de la creación de ciudades vitales y diversas donde el desplazamiento sea una variable más y no el condicionante principal. En definitiva, ciudades de distancias cortas y ritmos pausados, pensadas desde la escala humana y una relación más equilibrada entre lo estable y lo dinámico, lo natural y lo artificial, lo sedentario y lo nómada.

En ocasiones, el proyecto de la red de transporte precede al de los usos del suelo y en otras, las actividades se implantan en el territorio en condiciones de accesibilidad y conectividad precarias. La integración de los planes de movilidad y planeamiento urbanístico debería ir más allá de consideraciones de carácter cosmético cuyo objetivo es encubrir una visión parcial de la red de transporte y del territorio. Una aproximación pluridisciplinar y multiescalar al medio urbano supone un cambio de paradigma en la concepción misma del territorio como espacio de acomodo de la actividad humana y de gestión de los flujos de circulación. Un planeamiento integral que garantice el derecho a una movilidad eficiente e intermodal, y a una ciudad diversa y cohesionada.

Vista Aérea del *Eixo Monumental* del Plan Piloto de Brasília con la *Estação Rodoviária Central* en primer término. El *Eixo Monumental*, el espacio de mayor simbolismo cívico de Brasília, es en realidad la mediana (200 m de amplitud) de una autopista urbana con seis carriles de circulación por sentido que conecta la *Praça dos Três Poderes* con la estación ferroviaria, a lo largo de 8,5 km.

Plan Piloto de Brasília, Lucio Costa (1957).



2. ¿LA CIUDAD?

A principios del siglo XX, la ciudad supera sus fronteras físicas y se diluye la dicotomía tradicional entre campo y ciudad, que había condicionado la ordenación política, social y espacial del territorio durante siglos. A esto contribuye de forma decisiva la mejora en la tecnología de transporte que avanza la supremacía de la movilidad, y la descentralización de las actividades humanas que comporta un consumo de suelo en progresión exponencial. De este modo, la ciudad deja de ser el espacio de formalización arquitectónica para convertirse en el espacio de distribución de los flujos: el territorio de las redes, la metrópolis.

La metropolización es un conjunto de procesos de transformación morfológica y funcional que tienen lugar en los grandes asentamientos urbanos e implica desarrollos simultáneos de concentración y dispersión de las actividades, especialmente las vinculadas a las redes de transporte. La metropolización modifica las relaciones seculares entre espacio y tiempo. Las distancias pasan a medirse en unidades temporales y las condiciones de conectividad se sitúan por delante de las relativas a la condición física. La transición entre el modelo de ciudad compacta y la metrópolis fragmentada se apoya en el acceso a las redes de comunicación.

La red de transporte articula la metrópolis contemporánea estableciendo continuidades entre fragmentos más o menos antropizados, es decir, cohesiona el mosaico territorial. En este sistema de fragmentos autoorganizados e interdependientes, las actividades se localizan de acuerdo con las necesidades de conectividad a las redes. Flujos y actividades irrigan el territorio, pero la irrigación puede tener lugar de forma controlada, a través de una red acotada de canales de circulación, o bien por inundación indiscriminada, conformando así un territorio homogéneo y conectado pero desprovisto de identidad.

Los nuevos sistemas urbanos a escala regional se caracterizan por la distribución más o menos polarizada de la actividad productiva (industrial, terciaria, logística, administrativa, etc.) en detrimento de los centros tradicionales más densos y congestionados. Del mismo modo, los servicios públicos de escala supralocal (hospitales, universidades, centros deportivos, etc.) se localizan en el entorno de las redes de transporte público y privado, como estaciones ferroviarias o accesos a las autopistas, intensificando de esta forma las relaciones entre los diferentes fragmentos territoriales. El resultado es una realidad urbana de límites imprecisos pero funcionalmente interconectada y morfológicamente heterogénea.

El proyecto de la ciudad contemporánea debería atender a esta doble naturaleza del fenómeno urbano: actividad y movilidad. Una visión integral de ciudad y transporte que no es inédita sino que ya fue afrontada por el ingeniero Ildefons Cerdà y el arquitecto Eugène Hénard a mediados del siglo XIX en sus planes para Barcelona y París.

Vista del Plan *Structuurvisie Amsterdam 2040*. Planificar la ciudad del futuro implica proyectar el territorio de una forma integral. El desarrollo urbano de la ciudad de Ámsterdam se basa en la densificación tanto del anillo viario interior como de las estaciones de intercambio modal situadas en los ejes radiales. En el sistema territorial, el aeropuerto internacional Ámsterdam-Schiphol es el centro de actividad económica más dinámico de la región urbana.

Structuurvisie Amsterdam 2040, Ayuntamiento de Ámsterdam (2011).

Fig. 11.

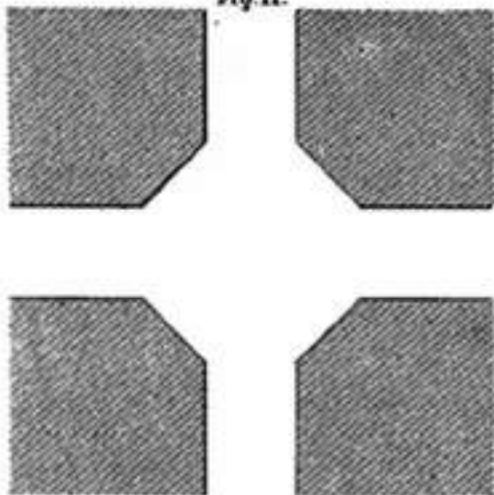
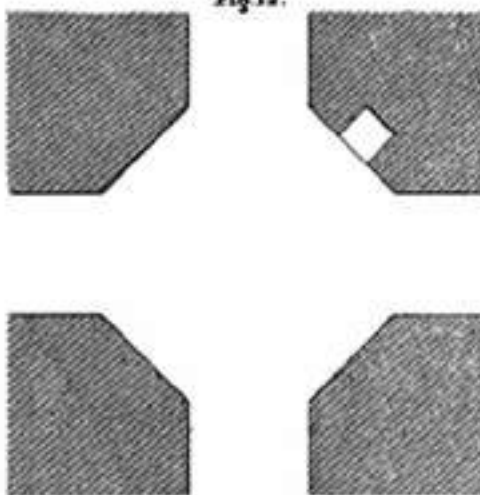
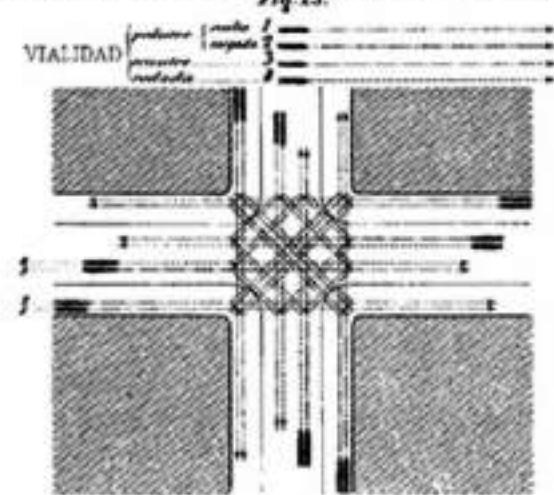


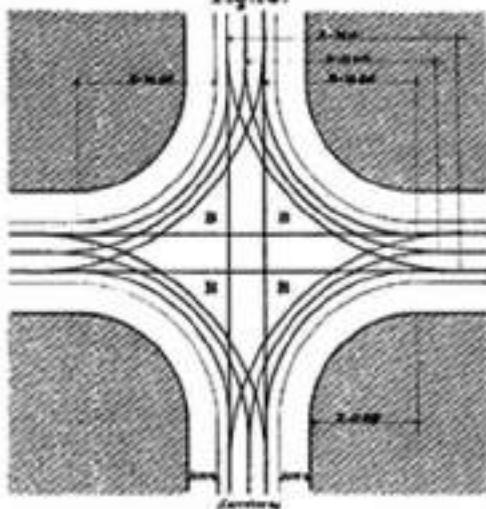
Fig. 12.



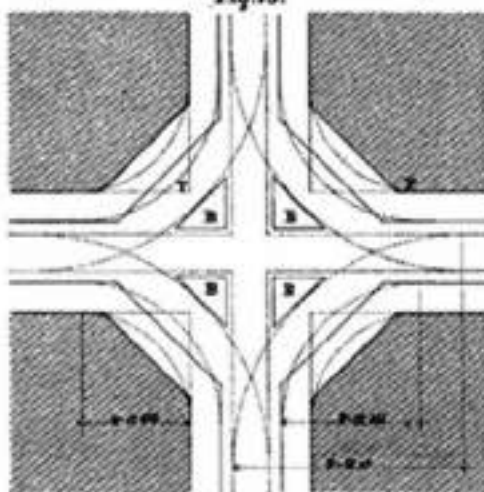
Disposicion ordinaria de las encrucijadas de la antigua ciudad
Fig. 13.



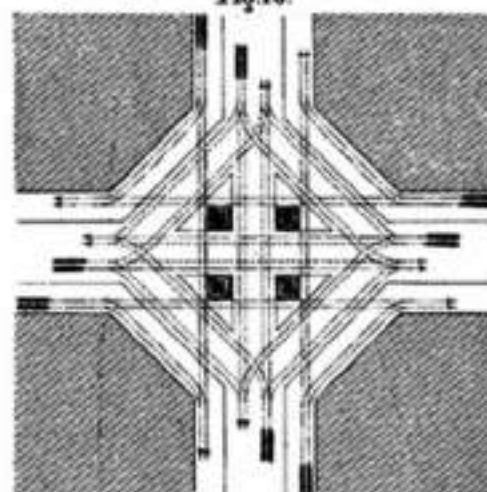
Determinacion teorica de una encrucijada.
Fig. 14.



Disposicion teorica practica de una encrucijada.
Fig. 15.



Encrucijada con builaderos laterales
Fig. 16.



3. ANTECEDENTES I. EL CHAFLÁN DE ILDEFONS CERDÀ

La resolución del conflicto entre gestión del tráfico y actividad se remonta al origen mismo del urbanismo moderno. El ingeniero Ildefons Cerdà no rehúye la cuestión sino que sitúa la integración de las nuevas formas de movilidad en la ciudad como uno de los pilares de su teoría urbanística. Cerdà diseña el espacio del movimiento: la calle, de acuerdo con el principio de segregación funcional de flujos circulatorios. Tal y como anuncia el lema de su *Teoría General*: “(...) independencia de los diversos géneros de movimiento en la vía urbana (...)” Sin embargo, la especialización de sección viaria de acuerdo con la naturaleza del flujo se realiza en relación de equilibrio entre movimiento pedestre y rodado.

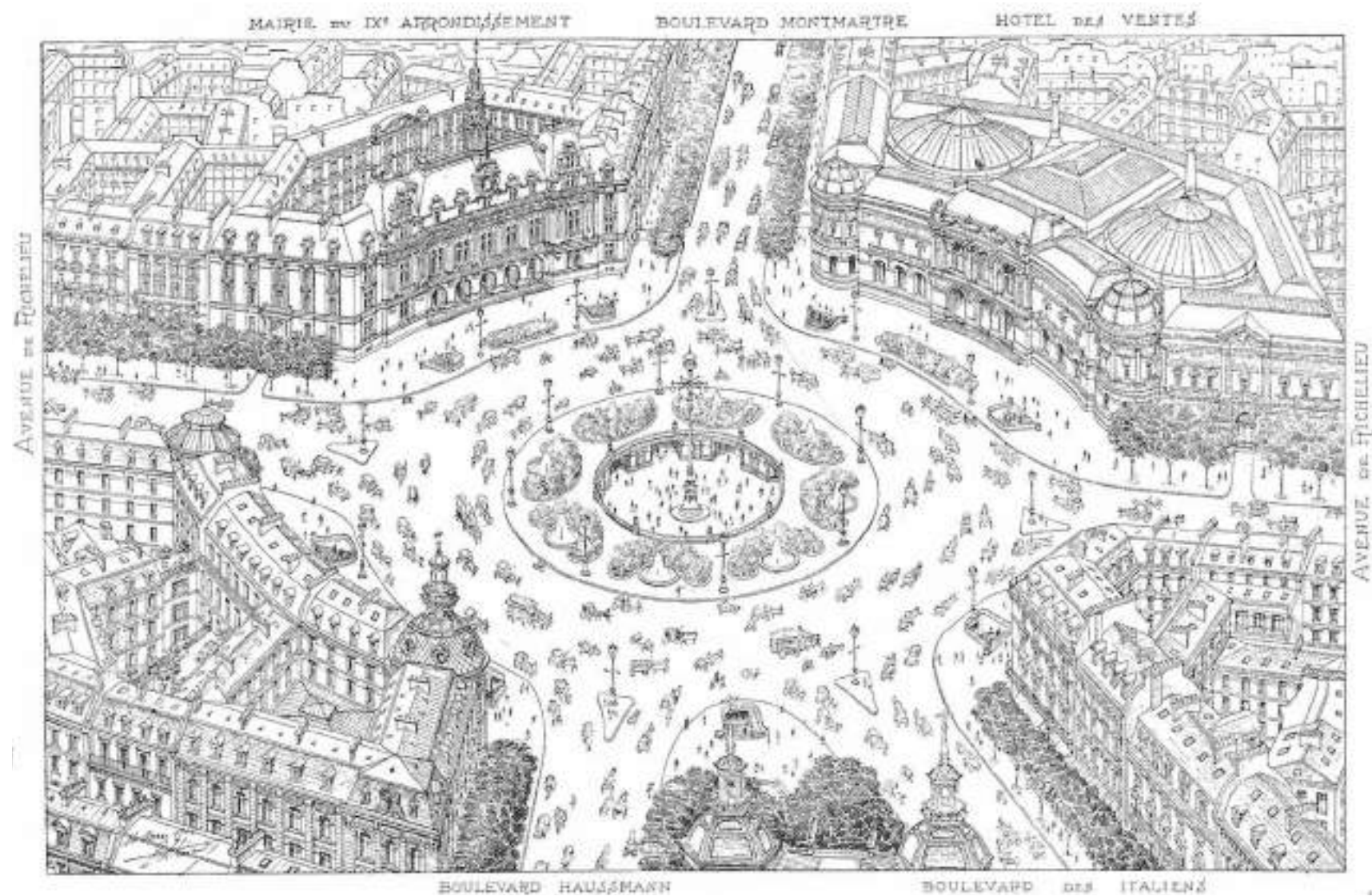
Cerdà diseña el cruce urbano a partir de la resolución de conflictos (colisiones) entre los desplazamientos directos y articulados, de cada uno de los cuatro grupos de usuarios de la vía: peatones, porteadores, jinetes y vehículos. El chaflán, en las esquinas del Eixample de Barcelona, es la consecuencia constructiva directa de la trayectoria de los usuarios en su desplazamiento. Además, la geometría del chaflán permite satisfacer la necesidad de espacio para la localización de los servicios urbanos. Cerdà proyecta las isletas resultantes del trazado viario en el cruce como un híbrido entre la acera y la calzada: los burladeros. Estos espacios “residuales” son en realidad una extensión del espacio del peatón que por una parte, permite realizar desplazamientos directos en condiciones de seguridad y por otra parte, puede albergar quioscos comerciales. Cerdà es consciente de la relevancia del chaflán como espacio de acumulación de actividad y movimiento: “cuanto está destinado a llamar la atención en este siglo en que la publicidad es el alma de las industrias, todo se procura fijar en las esquinas de las encrucijadas, (...)”

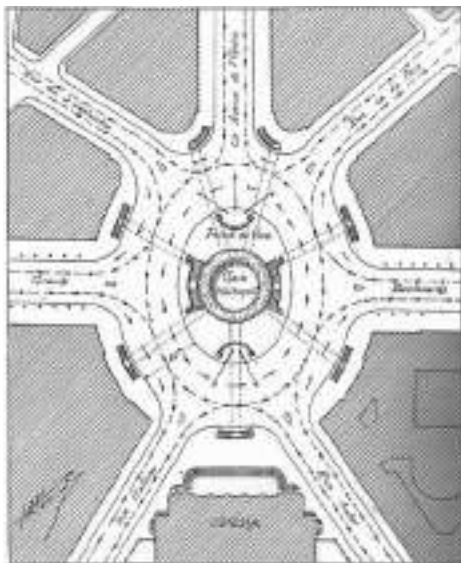
La encrucijada urbana para Cerdà es un elemento que integra movilidad, civilidad y arquitectura. La lógica del diseño de la red viaria basada en criterios de eficiencia y seguridad en el transporte condiciona la construcción del cruce urbano: el chaflán, así como de las actividades que acoge. Los chaflanes del Eixample no son sólo elementos funcionales que resultan del estudio de la movilidad sino que son además piezas urbanas que forman parte del imaginario colectivo.

En definitiva, el método utilizado por Cerdà para el diseño del cruce urbano consiste en la definición de tipos de usuarios, de acuerdo con la naturaleza del movimiento; la identificación y minimización de los puntos de conflicto, la adecuación del contexto construido a las necesidades de movilidad, y finalmente, la integración de actividad urbana en un espacio arquitectónico con cierta carga simbólica. Este procedimiento es similar al utilizado por el arquitecto Eugène Hénard para el diseño de otro elemento de gestión de la circulación que integra movilidad y actividad en París: la glorieta urbana.

Cruce urbano de cuatro ramales de Ildefons Cerdà para el Eixample de Barcelona 1859. El diseño de cruce viario de Cerdà responde criterios funcionales relacionados con la naturaleza del tráfico. Sin embargo, la solución ofrece un marco arquitectónico simbólico que reconoce la intersección como espacio de intensidad urbana.

Teoría General de la Urbanización y aplicación de sus principios y doctrinas a la reforma y ensanche de Barcelona, Ildefons Cerdà (1887).





Vista de la *Carrefour a giration des Grands Boulevards* y planta del Plan de transformación la *Place de l'Opéra* de Eugène Hénard. Hénard diseña una glorieta urbana monumental y accesible desde la lógica de la circulación de vehículos, pero como espacio de interacción social.

Etudes sur les transformations de París, Eugène Hénard (1903-1909).

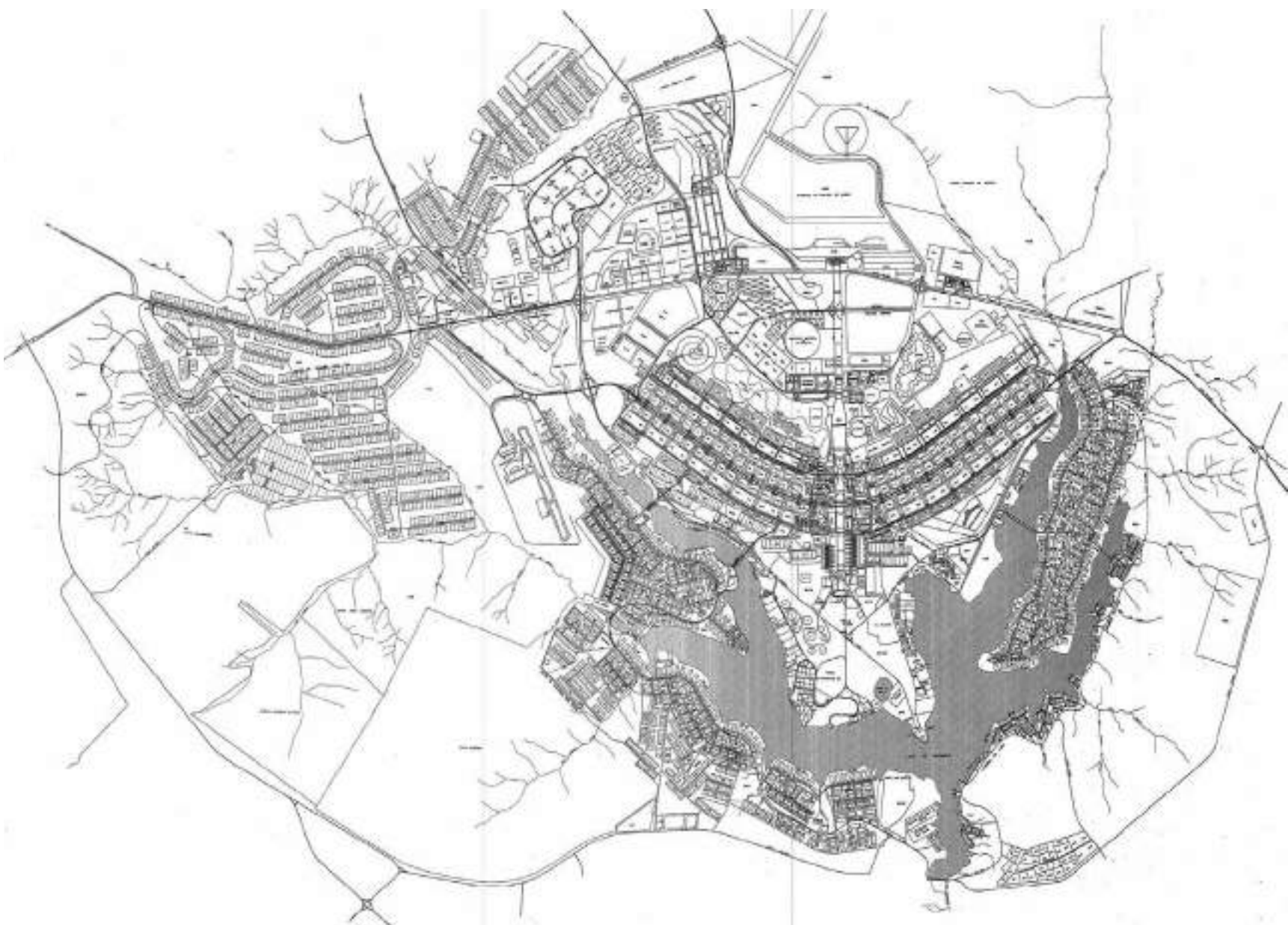
4. ANTECEDENTES II. LA GLORIETA DE EUGÈNE HÉNARD

El estudio de los cruces urbanos propuesto por Eugène Hénard depende tanto del número de vías que confluyen como de la naturaleza e intensidad de los flujos de circulación. De acuerdo con estos dos criterios de clasificación Hénard distingue tres tipos de cruces viarios: cruces de confluencia, ámbitos de encuentro de dos o más calles de baja intensidad; cruces de paso, intersecciones de dos vías principales sin correspondencia de flujo y finalmente; cruces de distribución, espacios de convergencia que favorecen la dispersión de vehículos de forma uniforme por todos los ramales. En este último grupo cabe entender la concepción de la intersección en forma de anillo para minimizar los puntos de conflicto, en torno a una glorieta inaccesible a los vehículos pero accesible en cambio, a los peatones.

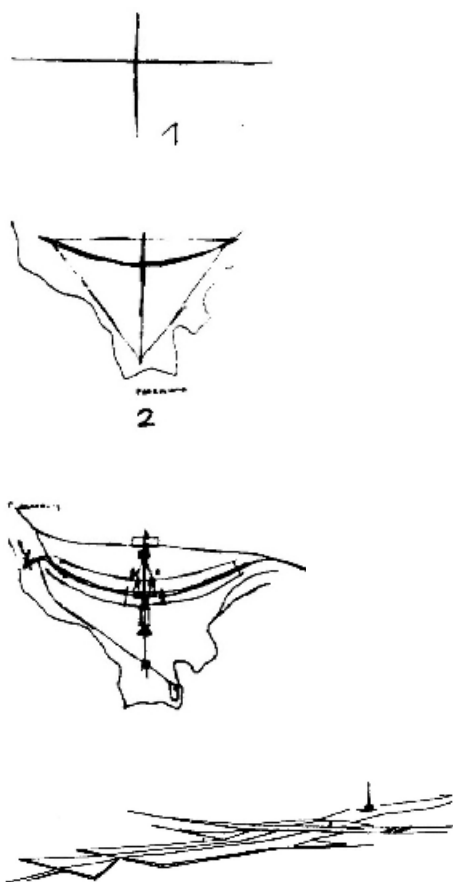
La gestión del tráfico rodado no es, sin embargo, incompatible con la creación de un espacio con cualidades urbanas, apto tanto para el paso de peatones como para el desarrollo de actividad comercial. Hénard propone la adaptación de la glorieta central para el uso cívico. La conexión entre las aceras circundantes y la glorieta se realiza mediante galerías subterráneas que convergen en un espacio circular deprimido a modo de patio abierto. En el perímetro de este atrio central se podrían establecer locales al servicio de los transeúntes y jardines de recreo en el nivel de la calzada. Estas galerías podrían, además, permitir el acceso a la red de ferrocarril suburbano. Hénard proyecta la reforma de la *Place de l'Opéra* de acuerdo con este diseño y propone además, una arquitectura monumental que acentúa la singularidad del cruce.

En definitiva, el diseño de Hénard para la glorieta en París resuelve los conflictos derivados de la movilidad en los cruces circulatorios pero además, supone una oportunidad para la configuración de espacios urbanos de calidad donde coexisten movilidad y actividad. La glorieta pone de manifiesto la integración de ingeniería y arquitectura en favor de un nuevo centro urbano seguro y activo con valor simbólico.

El incremento de la movilidad en el centro de las grandes ciudades, así como la aparición de medios de locomoción con solicitudes técnicas más restrictivas, requería y requiere la búsqueda de soluciones innovadoras capaces de integrar la red de transporte en entornos urbanos densos y activos. El diseño de las encrucijadas de Cerdà para el Eixample de Barcelona y de Hénard para el centro de París pone de manifiesto la voluntad de integración de movimiento, actividad y arquitectura en el diseño de las intersecciones urbanas. Frente a los cruces viarios como espacios para la contemplación, al servicio del usuario de la vía, la encrucijada de Cerdà y la glorieta de Hénard son espacios de representativos, monumentales, accesibles, vitales y cívicos para la interacción social, no olvidemos que gran parte de las gloriets urbanas computan a efectos de espacio público en el planeamiento urbanístico general.



5. ANTECEDENTES III. LOS CIAM, CAMBIO DE PARADIGMA



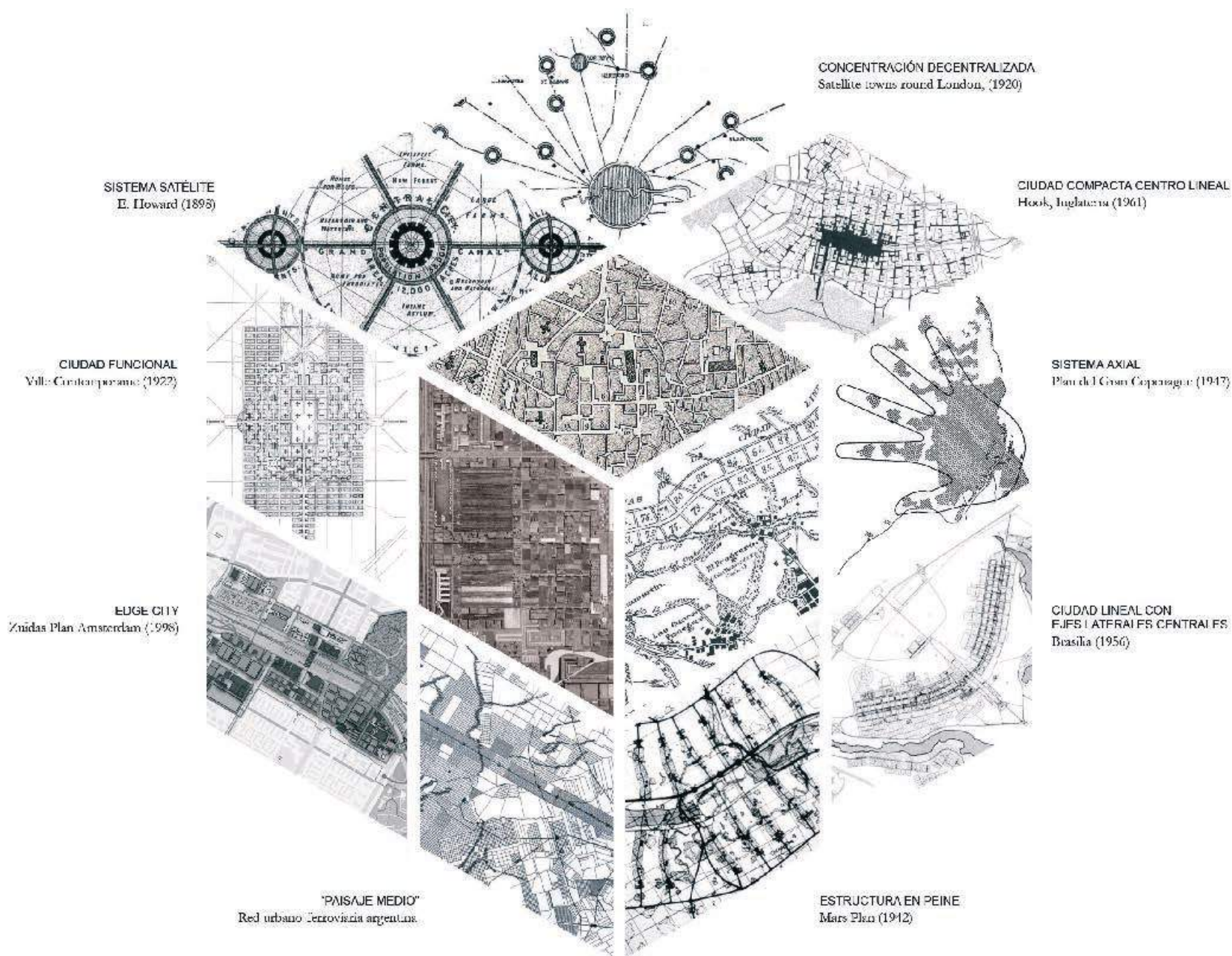
Planta y esbozos iniciales del Plan Piloto de Brasilia de Lucio Costa. Brasilia es un ejemplo paradigmático de la ciudad moderna concebida desde la movilidad. El Plan establece dos ejes, el *Eixo Monumental* (E-O) y el *Eixo Rodoviario* de Brasilia (N-S), que ordenan la red primaria y secundaria de transporte de la ciudad.

Plan Piloto de Brasília, Lucio Costa (1957).

El arquitecto norteamericano Frank Lloyd Wright presenta en 1935 un manifiesto sobre el futuro de los establecimientos urbanos en Estados Unidos: *Broadacre City*. El plan tenía como objetivo superar la dicotomía tradicional entre ciudad y campo, hombre y naturaleza, mediante la descentralización de la actividad urbana en una red agrícola de escala regional. Un nuevo modelo de ciudad de baja densidad en el que la movilidad particular y el desarrollo de las redes de comunicación terrestre estructuran el territorio. La propuesta utópica de Wright influye en el pensamiento urbanístico norteamericano de la época e inicia un cambio paradigmático en la concepción de la ciudad-región. *Broadacre City* es el modelo de la ciudad de las autopistas, los suburbios y los grandes centros comerciales. Las conexiones cotidianas entre los ámbitos de residencia, trabajo y recreo establecen una red básica de relaciones entre individuo y medio a través de los canales segregados de circulación. Las carreteras son espacios de ruptura de la resistencia del territorio al movimiento y la red de transporte se diseña de acuerdo con las solicitudes técnicas del vehículo y las condiciones de seguridad y confort de los usuarios, más que con las características morfológicas del medio de implantación.

En paralelo, se convocan los Congresos Internacionales de Arquitectura Moderna (CIAM) en el contexto europeo. Los CIAM (1928-1959) son el marco intelectual en el que se debaten los principios urbanos que guiarán la reconstrucción de la Europa de posguerra. El nuevo modelo, similar al norteamericano, se basa en el establecimiento de una red de comunicación eficiente entre sectores especializados. El manifiesto urbanístico que surge del IV CIAM (1933), conocido como la Carta de Atenas, defiende una nueva ordenación de la ciudad basada en las cuatro principales actividades humanas: habitar, trabajar, recreo y circular, así como una red de transporte adecuada al tráfico que rompa relación secular entre edificación y movimiento, esto supone “la muerte de la calle corredor.”

Para el Movimiento Moderno, la red viaria en la ciudad histórica estaba diseñada para el tráfico de personas y carruajes, y no era capaz de satisfacer las necesidades espaciales que los nuevos medios de locomoción demandaban. El principal obstáculo a la movilidad mecanizada, y por lo tanto a la velocidad, era la sección insuficiente de las calles y las distancias reducidas entre cruces. El Movimiento Moderno aboga por la especialización de la red de transporte en función de la naturaleza del tráfico y el diseño de cruces que favorezcan la continuidad de la circulación. Esta nueva visión funcionalista de la ciudad promueve el aislamiento espacial de los canales con mayor intensidad de tráfico, segregando definitivamente movilidad y ciudad, porque el individuo moderno es, por encima de todo, un ser humano móvil.



6. MOVILIDAD VS. CIUDAD

En las primeras etapas de formación de la red de transporte moderna, la construcción de la red está subordinada a las necesidades de conexión entre centros de actividad, es decir, consolida la red urbana preexistente. El incremento de la movilidad, especialmente durante la segunda mitad del siglo xx, invierte el rol de la red como elemento estructurante en la ordenación del territorio. El patrón urbano resultante surge de la progresiva integración de los flujos de transporte, económicos y sociales. El territorio urbano contemporáneo es, entre otros aspectos, la expresión espacial de las relaciones entre actividad y movilidad.

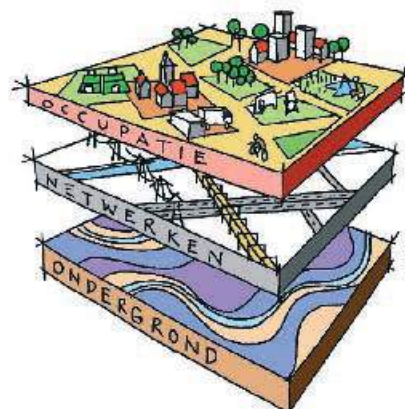
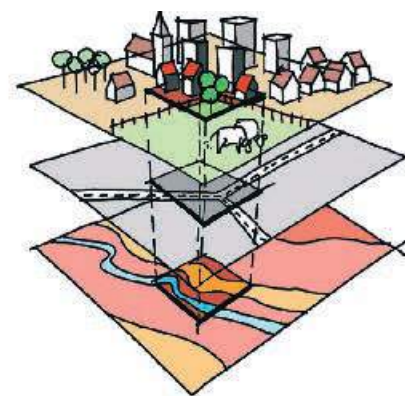
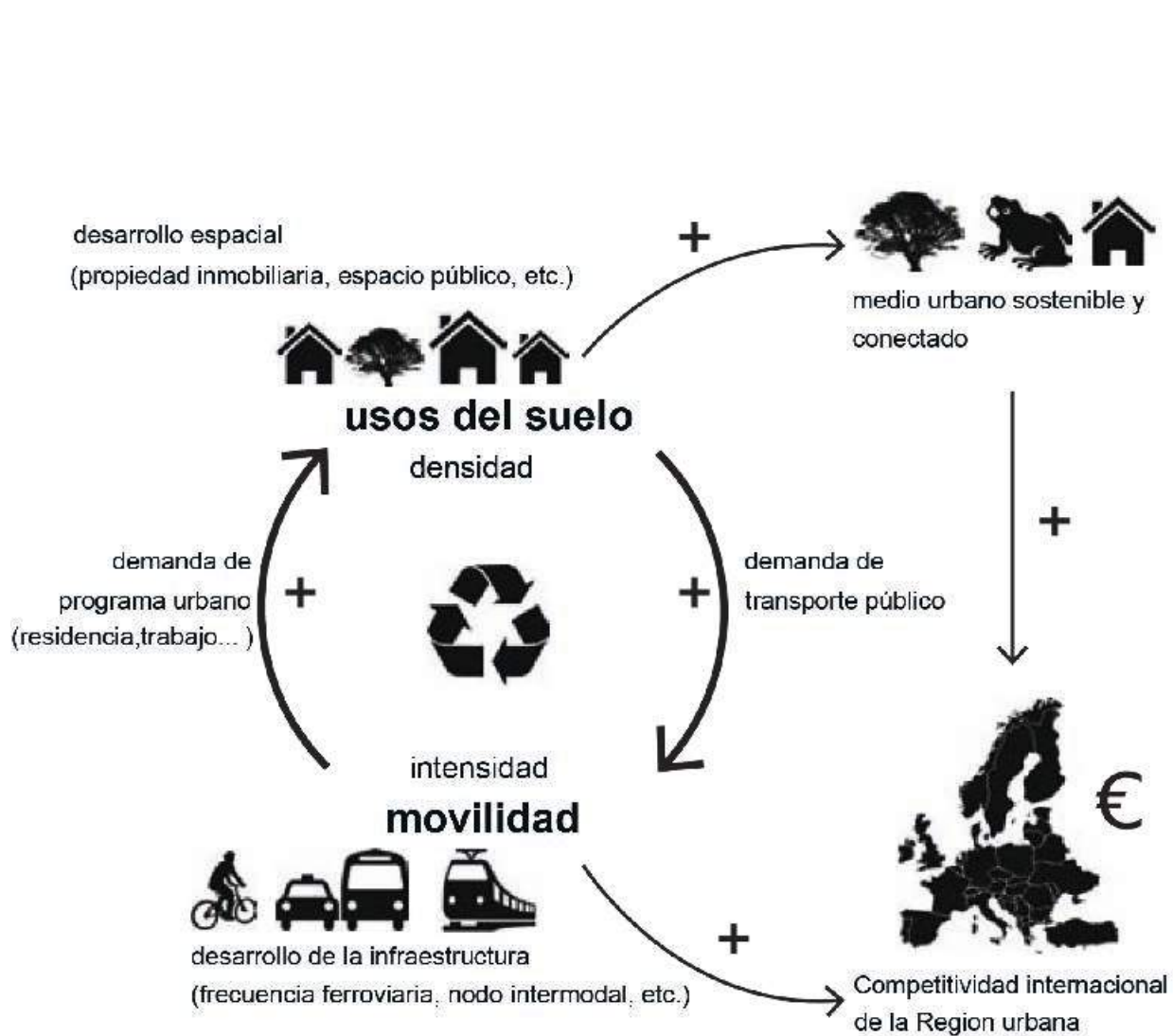
Ahora bien, ¿de qué modo la distribución de los usos del suelo condiciona la configuración de la red de transporte?, y a la inversa ¿Cómo influye la distribución de los flujos en la deslocalización de las actividades en el territorio? La relación entre accesibilidad y especialización funcional puede evaluarse a partir de dos modelos de naturaleza cuantitativa. El primer modelo se basa en el dimensionado de la red de transporte de acuerdo con la demanda de flujo provocada por la localización de la actividad en un lugar concreto. El segundo enfoque sostiene el papel fundamental de la red infraestructural en la distribución de las actividades. Sin embargo, la accesibilidad no garantiza la consolidación de actividad.

De acuerdo con estos dos modelos, las relaciones entre movilidad y desarrollo urbano no son estables, sino que forman un sistema retroalimentado formado por factores cuantitativos como el volumen de tráfico, y cualitativos como la diversidad de tipos edificatorios. La correspondencia entre transporte y usos del suelo está directamente relacionada con la participación de estos criterios en los procesos de concentración-dispersión urbana. Morfológicamente, los diferentes modelos de ordenación del territorio podrían reducirse a tres estructuras básicas: nodales, orientadas a un centro; lineales, en torno a un eje; y finalmente, superficiales o ámbitos de baja densidad sin una estructura de centros evidente. A partir de estas tres estructuras básicas de ordenación espacial: nodal, lineal y superficial se conforma un repertorio de tipos morfológicos que abarca desde la ciudad compacta tradicional a las diferentes formas de dispersión territorial actuales.

La ciudad compacta es la forma de ordenación espacial más eficiente para un sistema basado en la integración de movilidad y actividad urbana. Este tipo de estructuras favorecen la mixticidad funcional así como la eficiencia de la red de transporte. En el extremo opuesto, se encuentran los modelos dispersos caracterizados por la baja densidad y la accesibilidad exclusiva. Este tipo de ordenaciones suponen un elevado consumo de suelo y favorecen la dependencia del vehículo privado. A medio camino entre ambos, se encuentran modelos basados en estructuras policéntricas jerarquizadas donde la densificación coordinada de los centros urbanos permite preservar suelo y mejorar la eficiencia de la red de transporte.

Diagrama de tipos de patrones urbanos. En el espacio central del diagrama se presentan las tres tipologías básicas: el nodo (ciudad compacta), la línea (ciudad lineal) y el área (ciudad dispersa). Cada patrón está ejemplificado a través de un plan de ordenación célebre en la historia del urbanismo.

Esquema del autor a partir del esquema de Albers en *Modellvorstellungen zur Siedlungsstruktur in ihrer geschichtlichen Entwicklung*, 1974.



7. CIUDAD VS. MOVILIDAD

Tal y como se ha descrito, la influencia entre la ordenación espacial y la red de transporte es recíproca, sin embargo, la influencia de los usos del suelo en la movilidad es más evidente. El transporte no es en sí mismo un factor que garantiza el desarrollo urbano sino que son necesarias, entre otros aspectos, una planificación adecuada de las actividades y propiciar la interacción entre flujos circulatorios de naturaleza y escala diversa. Por otra parte, cabe destacar que la mejora del acceso a un sector puede condicionar el valor inmobiliario del suelo y la intensidad y velocidad y transformación del medio. La consolidación de actividad en la red de transporte depende también del grado de flexibilidad de la misma, es decir, redes rígidas, como la ferroviaria, garantizan la amortización de la inversión a largo plazo, mientras que redes flexibles están sometidas a cambios coyunturales.

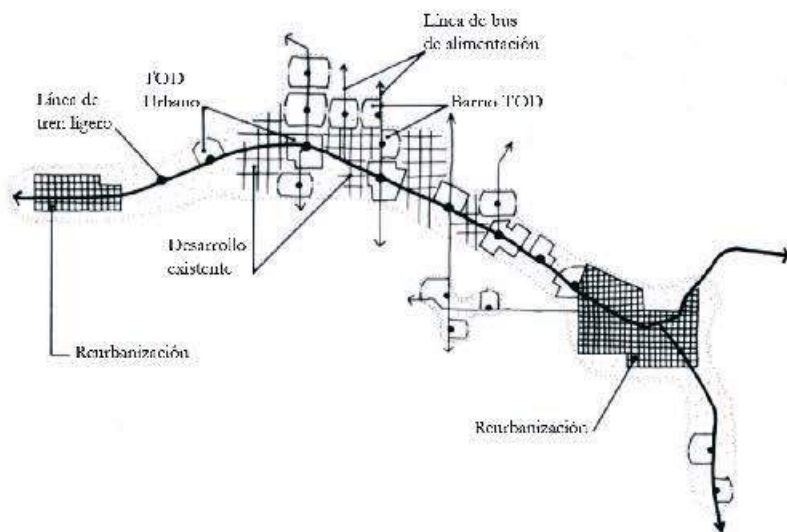
Los parámetros que permiten evaluar la correlación entre usos del suelo y movilidad son heterogéneos. La ordenación espacial condiciona la capacidad de carga de la red de transporte, la distancia entre los accesos al territorio, la calidad del tráfico o del servicio de transporte, los costes económicos del medio de locomoción, los efectos medioambientales, etc. No obstante, el análisis de cómo la forma urbana afecta a la movilidad requiere una aproximación cuantitativa, de evaluación de los procesos de compacidad-dispersión urbanos, y cualitativa, basada en la diversidad de medios de interacción y mixtidad de actividad humana, tanto a escala regional como local.

La densidad urbana es uno de los factores determinantes en la planificación de la movilidad. Uno de los efectos de la densificación urbana es la reducción de la longitud de los desplazamientos, favoreciendo el uso de medios de locomoción no motorizados y la viabilidad de sistemas de transporte colectivo. En este sentido, centros compactos y mixtos ofrecen una mayor diversidad de medios de transporte para cubrir una misma ruta y la congestión y la escasez de espacio para el estacionamiento tienen efecto disuasorio en el uso del vehículo privado en medios urbanos densos y compactos.

En el extremo opuesto, la dispersión de actividades urbanas favorece la fragmentación y la especialización funcional del territorio. Los núcleos urbanos tradicionales integran en un mismo espacio actividades diversas: residenciales, productivas y recreativas, son centros urbanos mixtos. Un patrón de usos del suelo heterogéneo permite además, una distribución más equilibrada del tráfico a lo largo de la jornada, en contraposición a los fragmentos monofuncionales como suburbios residenciales o polígonos industriales que pueden colapsar la red en horas punta. En las últimas décadas se han ensayado nuevos patrones de ordenación espacial basados en la densidad y mixtidad urbana orientados a la red de transporte.

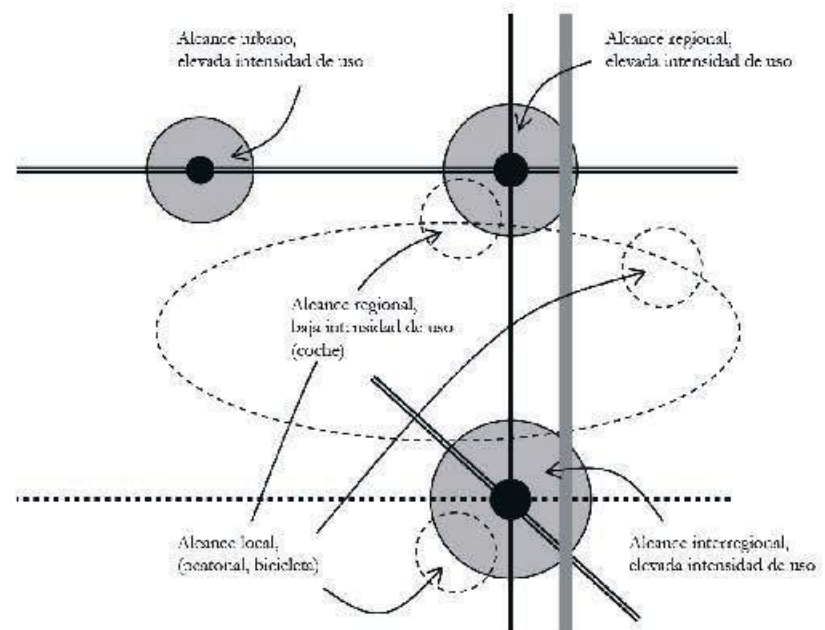
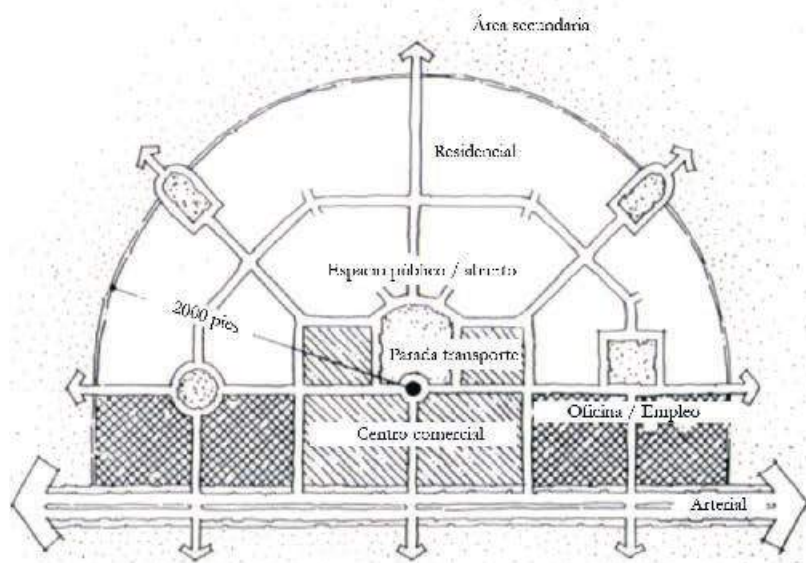
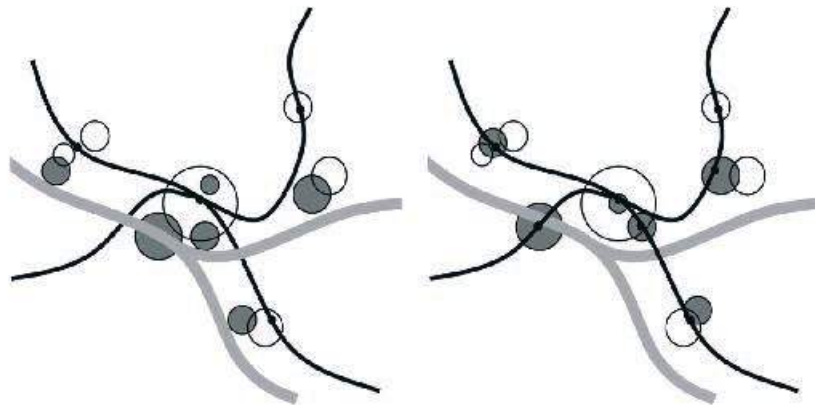
Ciclo de interacción entre movilidad y usos del suelo, y diagramas de relación multicapa entre el estrato urbano, infraestructural y natural. El incremento de la intensidad de tráfico podría implicar una intensificación de la actividad urbana y viceversa, por lo que es necesario acordar la red urbana, la red de transporte y la matriz biofísica natural.

Vereniging Deltametropool, 2009.



POLÍTICA DE CIUDAD COMPACTA

TRANSIT ORIENTED DEVELOPMENT



8. DESARROLLOS URBANOS ORIENTADOS AL TRANSPORTE (TOD)

El modelo *Transit Oriented Development* está basado en el desarrollo de un sistema de comunidades urbanas organizadas en torno a los accesos a la red de transporte. Este tipo de estructuras nodales, en contraste con los corredores lineales, se apoyan en el desarrollo y la eficiencia de la red regional de comunicación. A escala local, los TOD están formados por un centro urbano de alta densidad que combina usos residenciales, comerciales, productivos y recreativos, en el ámbito peatonal en torno a una estación intermodal. Otro de los aspectos clave en la definición del modelo TOD es la integración transescalar de redes de transporte regionales y de distribución local en un medio adecuado para las formas de desplazamiento no motorizadas.

Los antecedentes del modelo TOD, en el contexto europeo, se encuentran en las *New Town* inglesas de posguerra y los proyectos de los distritos ferroviarios nórdicos de los años 50. El objetivo de estas ciudades satélite era la redistribución de la población en el territorio para reducir la presión demográfica e inmobiliaria sobre los núcleos urbanos históricos. La localización de estos nuevos centros persigue la optimización de las redes de suministro de servicios y comunicación. Más allá de principios técnicos relacionados con la movilidad y la ordenación espacial, los planes TOD de última generación integran además, criterios sociológicos y medioambientalistas en el diseño de estos barrios.

La prosperidad de un centro urbano diseñado de acuerdo con los principios de integración entre movilidad y usos del suelo implica la concertación de las redes motorizadas y cívicas, públicas y privadas, basada en el factor de proximidad, la intensificación urbana y la mixtura de las actividades y tipos residenciales que permitan además la mezcla de grupos sociales.

La planificación de estos enclaves debería considerar la naturaleza y la intensidad del tráfico que confluye en sus centros y la densidad urbana debería adecuarse a la capacidad de las vías de transporte que conectan estos centros. Como resulta obvio, para garantizar la viabilidad económica de estos enclaves es necesaria una masa crítica de usuarios, un nivel mínimo de mixtura funcional, una proporción adecuada de las distancias que contemple la escala humana y unos criterios de diseño arquitectónico del espacio urbano que favorezcan la interacción entre ciudadanos y usuarios de la red. En definitiva, la consolidación del modelo TOD en un territorio depende de la existencia de un patrón urbano legible y unas políticas de promoción del intercambio modal entre redes de transporte, la densificación de los espacios de intercambio mediante criterios cualitativos de mixtura de actividad y el control del crecimiento de los asentamientos humanos que permitan además, preservar suelo para cubrir las necesidades de las generaciones futuras.

Esquemas de ordenación del modelo TOD desde la escala territorial a la urbana. Las políticas de integración de la movilidad y los usos del suelo se basan en el modelo de ciudad compacta y densa, diseñada a partir de distancias asumibles a pie o en bicicleta desde un centro de intercambio modal.

Transit Oriented Development, Luca Bertolini, 2009.

Lutraq: Making the land use, transportation, air quality connection, Peter Calthorpe, 1993.

Paisajes característicos de la Ruta A12



9. EL TRANSPORTE ORIENTA EL DESARROLLO URBANO (ROUTEONTWERP)

Tal y como se ha comentado en el primer apartado del capítulo, el Gobierno neerlandés entraba sus políticas sobre movilidad a finales del siglo XX en la mejora de la eficiencia y calidad de la red de infraestructuras de transporte. Sin embargo, el incremento de la intensidad de tráfico favorecía la dispersión de actividad por el territorio. Nuevas centralidades urbanas se implantaban en los márgenes de los ejes viarios principales en detrimento de la calidad de los paisajes que atravesaban. A principios del siglo XXI, el Gobierno neerlandés pone en marcha una serie de planes encaminados a la integración efectiva de la movilidad y la ordenación espacial como el programa *Routeontwerp* o de diseño de carreteras.

El origen del programa *Routeontwerp* se encuentra en la publicación *Ontwerpen aan Nederland, Architectuurbeleid 2001-2004* (Diseño en los Países Bajos, Arquitectura 2001-2004) del Ministerio de Educación, Cultura y Ciencia. Este informe tenía como objetivo contribuir de forma práctica a la ordenación territorial y la calidad arquitectónica neerlandesa. Uno de los proyectos destacados recogidos en este documento es el *Routeontwerp rijkswegen* (Diseño de la red nacional de carreteras) basado en el diseño de los elementos de señalización y acceso del autopista A12 como prueba piloto.

El proyecto se inicia con un debate entre las administraciones competentes y las entidades sociales sobre la delimitación del ámbito físico de intervención, más allá de los márgenes de la infraestructura, y conceptual, incluyendo aspectos como el medio ambiente. El efecto de las carreteras en el territorio no se puede reducir exclusivamente a una franja lateral de reserva, es necesario su evaluación en un contexto espacial más amplio y con carácter pluridisciplinar. El plan de la *Regenboogroute* A-12, entre La Haya y De Liemers, establece las estrategias de intervención que posteriormente se aplicarán a otros ejes como la A4 y la A27. El plan se presenta como un manifiesto en favor de la integración de la carretera y su entorno desde la coherencia entre los requerimientos de la movilidad, el desarrollo económico del eje viario y la preservación del mosaico territorial de paisajes.

Los objetivos propuestos son de una gran ambición puesto que tratan de hacer compatible el carácter estructurante de la red de transporte, la conexión entre los centros de actividad urbana y la preservación de las cualidades del medio natural. Los retos del programa pasan por la formulación de un lenguaje coherente en la arquitectura de la infraestructura que sea compatible con el carácter del entorno, la preservación y fortalecimiento de la identidad del mosaico de paisajes de margen de la red de transporte, y la definición de unos protocolos de gestión y cooperación entre las instituciones y organizaciones implicadas.

Unidades paisajísticas definidas en el Plan *Routeontwerp* en la A12. El programa identifica y caracteriza los paisajes en cada tramo de la autopista en las fichas adjuntas. A lo largo de los 150 km del eje se identifican hasta 11 paisajes clasificados en cuatro tipologías: urbano, mixto, agrícola y forestal.

De koers voor het Routeontwerp, Eindrapport, Rijkswaterstaat, 2004.

2

2

El incremento de la intensidad de tráfico en el tramo metropolitano y la urbanización de sus márgenes de la A12 habían favorecido el efecto barrera y los procesos de segregación funcional del continuo territorial. El programa *Routeontwerp* supone una oportunidad para invertir los procesos de fragmentación que las autopistas provocan sobre las unidades de paisaje haciéndolas más visibles a lo largo de los 155km de longitud total de la vía.

Metodológicamente, el plan define once paisajes característicos desde La Haya hasta la frontera alemana clasificados en cuatro tipologías: urbana, agrícola, forestal y mixta (terciaria, industrial y natural). Para cada una de estas tipologías se establecen unas estrategias de diseño que tienen como objetivo la preservación de su identidad y la regulación de las intervenciones futuras. La ordenación urbanística del entorno del corredor es uno de los instrumentos clave para la recuperación y promoción de la singularidad de estos paisajes.

Los principios de ordenación espacial del programa *Routeontwerp* se basan en el fortalecimiento del contraste, enfatizando las diferencias en los espacios de contacto entre paisajes. Cuando el límite alcanza el máximo nivel de contraste se convierte en una puerta como la *stadsport* o puerta urbana entre sectores de alta densidad edificada y espacios agrícolas. Otra de las estrategias consiste en la minimización del efecto barrera en medios urbanos actuando sobre la permeabilidad de la infraestructura mediante la construcción de edificios puente en medios urbanos de alta densidad como La Haya. Finalmente, otra de las estrategias consiste en el tratamiento de los frentes urbanos, tanto residenciales como terciarios, hacia la infraestructura para aprovechar el efecto escaparate. Estos objetos arquitectónicos son los elementos más visibles del paisaje neerlandés desde la carretera. La regulación de la edificación en ámbitos urbanos y mixtos debía promover la exhibición de volúmenes singulares con cierta carga simbólica. Sin embargo, en medios agrícolas o forestales se incorporaban filtros vegetales entre la carretera y la fachada edificada con el objetivo de minimizar el impacto del tráfico.

Por otra parte, el programa *Routeontwerp* establece unos criterios de diseño para los elementos de señalización y equipamiento de la plataforma viaria. Estos elementos pueden clasificarse en dos grupos: elementos estructurales y de servicio propios de la movilidad, y elementos de contacto entre la calzada y el entorno. En el primer grupo, se encuentran la iluminación, la señalización, los enlaces viarios y los viaductos. En el segundo grupo, los elementos se adecúan a las características de los cuatro paisajes tipológicos descritos anteriormente, y son fundamentalmente las barreras acústicas, los pasos inferiores, pasos superiores, márgenes, medianas y áreas de servicio. En definitiva, el programa *Routeontwerp* contempla el diseño tanto del espacio viario como de su entorno para crear un discurso formal coherente a lo largo del corredor que contribuya a la ordenación espacial del territorio desde la movilidad.

Mapa de la autopista A12, cuadro de principios de diseño arquitectónico de la autopista y principios de diseño de los paisajes tipológicos. El primer cuadro hace referencia a los elementos de mobiliario y servicios, mientras que el segundo cuadro a las estrategias de ordenación territorial en torno a la vía.

De koers voor het Routeontwerp, Eindrapport, Rijkswaterstaat, 2004.



11. LA CARRETERA SIN LA CIUDAD

La carretera dispone de una lógica propia de diseño, vinculada a solicitudes de carácter funcional y técnico. El objetivo de la red de transporte es garantizar el tránsito de personas, bienes y energía en condiciones de seguridad y con la mayor eficiencia y economía posibles. El rozamiento entre la red de transporte segregada, con unas condiciones de diseño estrictas más adecuadas al medio de transporte que al medio de implantación, y el territorio establece un ámbito de afectación que trasciende al canal de circulación y a las servidumbres urbanísticas, se trata del espacio de la movilidad. El espacio de la movilidad es el ámbito físico y perceptivo resultante de la fricción entre la lógica de diseño de la infraestructura y el territorio. Pero, ¿acaso no es la infraestructura territorio?. Obviamente, la red de transporte forma parte del sistema urbano y la metrópolis es inconcebible sin los canales de circulación. Sin embargo, cabe distinguir entre la red de distribución y acceso de tráfico local y la red segregada de tráfico pasante. En conflicto entre la red de vías rápidas y el territorio, surge en parte, por la falta de una visión integral que permita el acuerdo entre movilidad y ordenación espacial.

Históricamente, el trazado viario se definía a partir de la sucesión de tramos de directriz rectilínea y arcos de circunferencia con un radio adecuado a las solicitudes de los vehículos. Los ejes viarios se adaptaban a la altimetría natural del terreno mediante la interpretación de las isohipsas y el análisis exhaustivo de la hidrografía local. Estos criterios se aplicaban al diseño tanto de la planimetría como de la altimetría y el resultado era una vía adaptada a las características de la locomoción tradicional y plenamente integrada en el paisaje, con un impacto ambiental controlado.

Actualmente, la geometría de la carretera es concebida tridimensionalmente. A partir de la definición de unos puntos singulares, de carácter técnico o paisajístico, unidos mediante curvas acordadas con el perfil longitudinal. La definición geométrica de la carretera es un proyecto integral que se basa en la continua revisión del trazado en planta y del perfil para dotar de coherencia al proyecto viario de una forma global, pero es la sección transversal la que garantiza un acuerdo óptimo con el territorio y en consecuencia, con la ciudad.

Otro aspecto a considerar en el diseño del trazado viario es el ámbito de afectación legal de la infraestructura que incluye una zona de dominio público (8 m), zona de servidumbre (25 m), límite de edificación (50 m) y zona de afectación (100 m) a ambos lados de la autopista. La integración de la ordenación espacial y de la movilidad obligaría a replantear estos ámbitos, tanto en medio urbano como rural. De este modo, sección transversal y ámbitos de servidumbre son los elementos clave en la consecución de una visión global de la carretera en el territorio metropolitano.

Vista aérea del Puente Nanpu en Shangái. Artefactos urbanos diseñados desde la lógica exclusiva de la movilidad causan un gran impacto sobre los tejidos urbanos del entorno siendo necesaria a posteriori actuaciones de integración de carácter cosmético.

Nanpu Bridge, Shangái, 1991.





Vista del interior del *Parc de la Trinitat*, detalle de la escultura *Caballos desbocados* de Joaquim Ros i Sabaté, y planta comparativa entre el trazado del enlace propuesto por el Plan General Metropolitano de Barcelona (1976) y la solución circular final (1992). El interior del *Parc de la Trinitat* acoge un parque equipado con pistas deportivas, zonas de recreo y un diseño de la jardinería que reconoce la morfología del nudo.

Nus de la Trinitat, Barcelona, 1992.

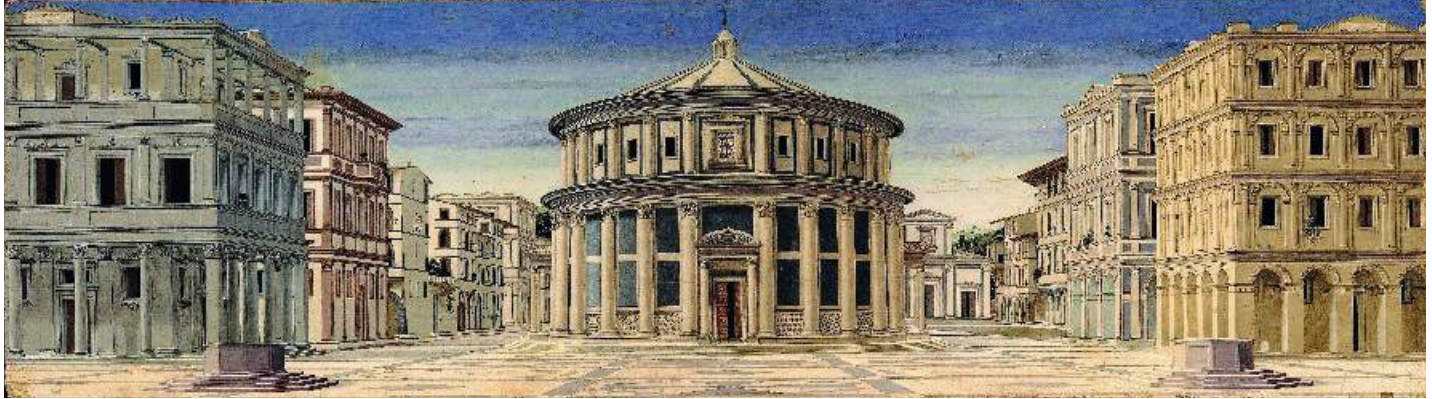
12. EL NUS DE LA TRINITAT

Concebir el espacio de la movilidad como espacio de centralidad urbana no es una actitud moderna, tal y como se ha corroborado en los proyectos de cruce de Cerdà i Hénard. Los nodos de la red son lugares que en primer término deben ser eficaces en la gestión de los flujos de transporte, pero esta eficiencia no es incompatible con la creación de espacios de confort para la actividad humana, especialmente en entornos de gran presión urbana.

De esta forma, hay elementos que cabe tener en cuenta en la formalización de un nodo como son la fachada, la conexión con la red viaria local y la inteligibilidad de la solución formal. En primer lugar, el enlace viario resulta del acuerdo entre planta y alzado, por lo tanto, habría que integrar tanto los espacios intersticiales del trazado viario como hacer participar el frente urbano presente o futuro en el diseño del nudo. En segundo lugar, el enlace debería estar conectado con la red local y ser permeable al paso de peatones. Finalmente, un diseño sencillo podría contribuir a la comprensión morfológica del enlace tanto por usuarios de la vía como por peatones, esto contribuiría a la identificación simbólica con el nuevo espacio urbano.

Un caso paradigmático de integración de un enlace viario en un entorno urbano de acuerdo a los criterios de calidad espacial descritos es el Nus de la Trinitat de Barcelona. Este enlace conecta el sistema de vías periféricas de la ciudad (Rondas) con la red de autopistas radiales del valle del río Besòs y el frente litoral norte. El Plan General Metropolitano (1976) preveía la construcción de un gran enlace viario de 16 ha de ocupación. La propuesta reordena el nudo en forma de gran rotatorio con 250 m de radio con una reducción de la ocupación del 60% respecto a la proyecto original. La disposición de la rasante, deprimida respecto al barrio de la Trinitat y elevada respecto al barrio de Baró de Viver, garantizaba el acceso a un espacio central concebido como un parque urbano equipado.

El Parc de la Trinitat es un parque local en el interior de un nudo viario metropolitano. El acceso desde la Trinitat se produce a través de un falso túnel que funciona a su vez como cornisa del barrio sobre el parque y como vestíbulo de la estación de metro que lleva su nombre. Además, la economía de la solución en cuanto a consumo de suelo ha permitido integrar parte de los terrenos de reserva viaria del PGM en el sistema de equipamientos locales de barrios claramente deficitarios como el de la Trinitat. En este sentido, se incorpora un centro educativo, un mercado municipal, equipamientos deportivos, etc. El nus de la Trinitat es la revisión contemporánea de la *Carrefour a giration* de Eugène Hénard adaptada a la movilidad y necesidades urbanas actuales. Un ejemplo de integración de la movilidad metropolitana y espacio arquitectónico de calidad.



13. LA CARRETERA CON LA CIUDAD

El Renacimiento, como episodio cultural e histórico, se convierte en el marco adecuado para el debate sobre el futuro de la ciudad. La pintura “La ciudad ideal” (1475) atribuido al pintor Piero de la Francesca, es un hito icónico en la representación de la ciudad renacentista concebida como una gran escenografía arquitectónica. La nueva ciudad es un proyecto finalista, armónico, desprovisto de referentes que la vinculen al territorio, una ciudad inerte, fija e inmóvil, es decir, estática.

Las utopías urbanas contemporáneas van más allá del carácter escenográfico de los modelos humanistas. Las ciudades imaginadas por los urbanistas del siglo XX son, en primer lugar, propuestas de escala territorial. La Amaurota moderna es testimonio del carácter vertebrador de la movilidad en la metrópolis. La ciudad líquida de los flujos de transporte y de los nodos de intercambio a escala regional. La ciudad dinámica del tráfico, la velocidad y la comunicación en red. En este sentido, propuestas emblemáticas como *Broadacre city* de F. L. Wright (1932) o la *Ville Contemporaine* de Le Corbusier (1925) reflejan el papel que juega la red de transporte en los nuevos modelos de ordenación.

Las utopías urbanas formuladas en el contexto de la metropolización territorial definen un patrón de ordenación basado en la red segregada de transporte. Sin embargo, esta red de comunicación especializada ha perdido la escala humana de las rutas históricas integradas en el paisaje. La infraestructura había participado tradicionalmente en la transformación del territorio como elemento portador de urbanidad. La red segregada teje una malla jerarquizada desvinculada del territorio al que sirve. Llegados a este punto cabe preguntarse si es posible la concepción de un proyecto que integre movilidad y ordenación espacial desde la arquitectura.

Algunas propuestas utópicas planteaban la integración de los corredores de la movilidad a través de soluciones arquitectónicas. El acuerdo entre la ciudad estática, edificada, y la dinámica, del tráfico de flujos, se realizaba a través de un artefacto arquitectónico que incorporaba usos residenciales, productivos, de ocio y circulación. Sin embargo, estas propuestas pioneras no resolvían el efecto barrera sobre las continuidades ecológicas o sobre la percepción panorámica del territorio. En este sentido, uno de los planes destacados que integran movilidad y ciudad en una solución arquitectónica es el Plan Obus para la ciudad norteafricana de Argel (1932). Le Corbusier propone un gran viaducto paralelo a la costa a cota +100 m que alberga vivienda para 130.000 personas en los niveles inferiores.

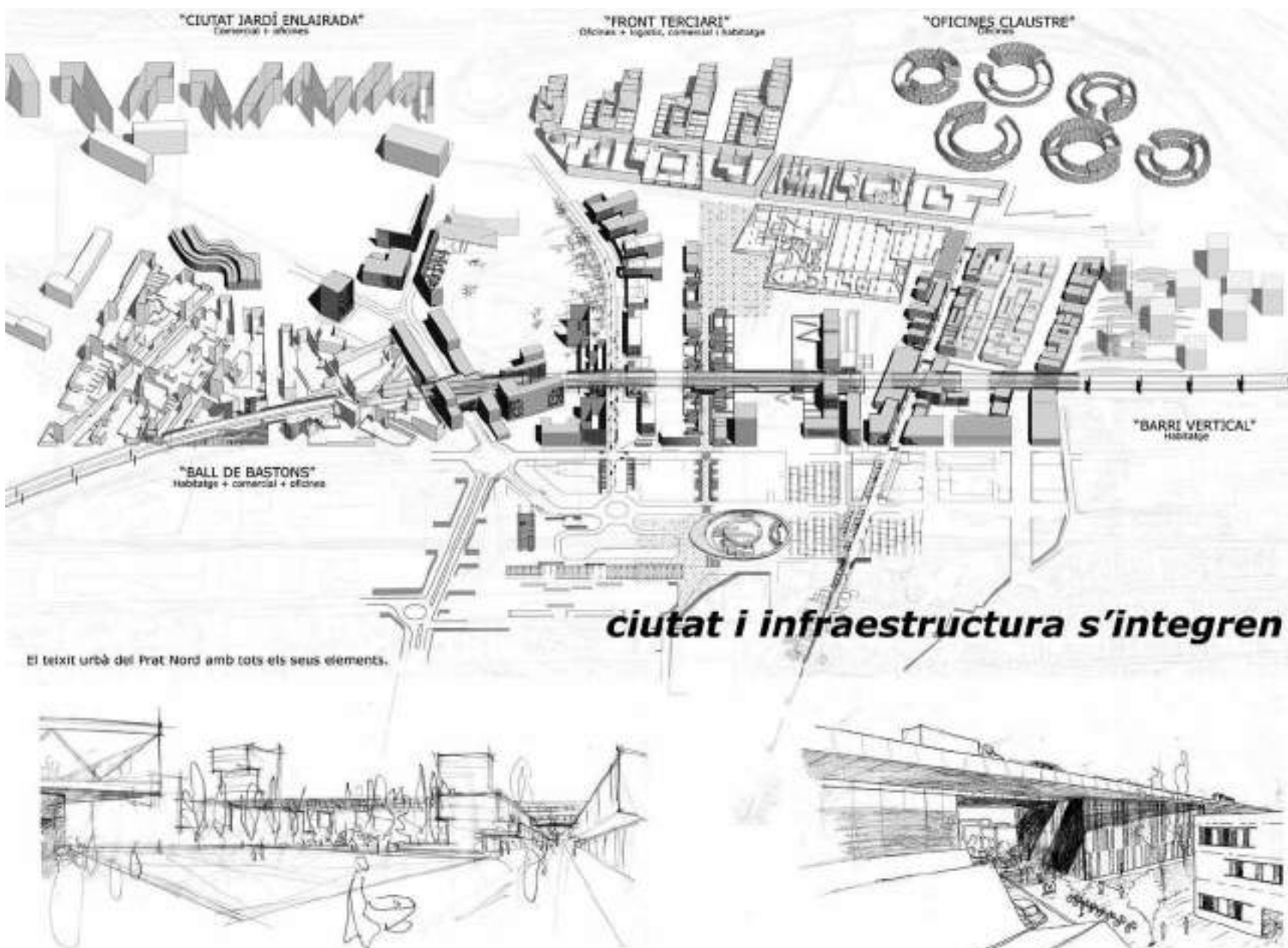
Más allá de utopías, nuevas propuestas de desarrollo urbano basadas en la integración de la movilidad y la ordenación espacial desde la arquitectura se abren paso en la consecución de unas redes urbanas y de transporte más eficientes, como por ejemplo, la propuesta de Manuel de Solà-Morales para el Prat Nord.

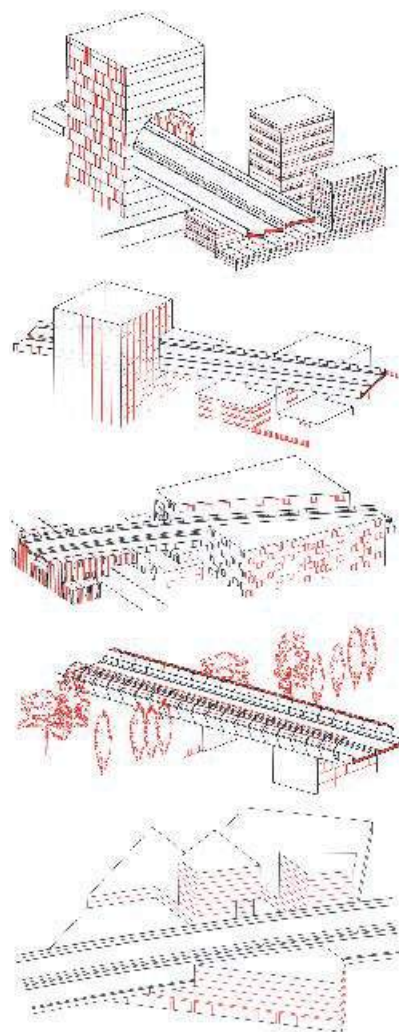
Imagen de la ciudad ideal renacentista concebida como una escenografía arquitectónica inanimada, la ciudad del futuro se imagina como el espacio construido de escala territorial capaz de gestionar las redes de transporte, terrestres o aéreas.

Ciudad ideal, Anónimo, finales del siglo xv.

Harvey Wiley Corbett's City of the Future, 1903.

Vista aérea de la ciudad de Dubai, 2015.





Propuesta de ordenación de Manuel de Solà-Morales para el concurso de ideas del Prat Nord. Las imágenes muestran las estrategias de integración del viaducto infraestructural de la autopista C-31 y la ordenación espacial de los seis “dedos” urbanos a través de la arquitectura.

6+6, Concurso de ideas del ámbito del centro direccional en el Prat del Llobregat, Manuel de Solà-Morales, 2008.

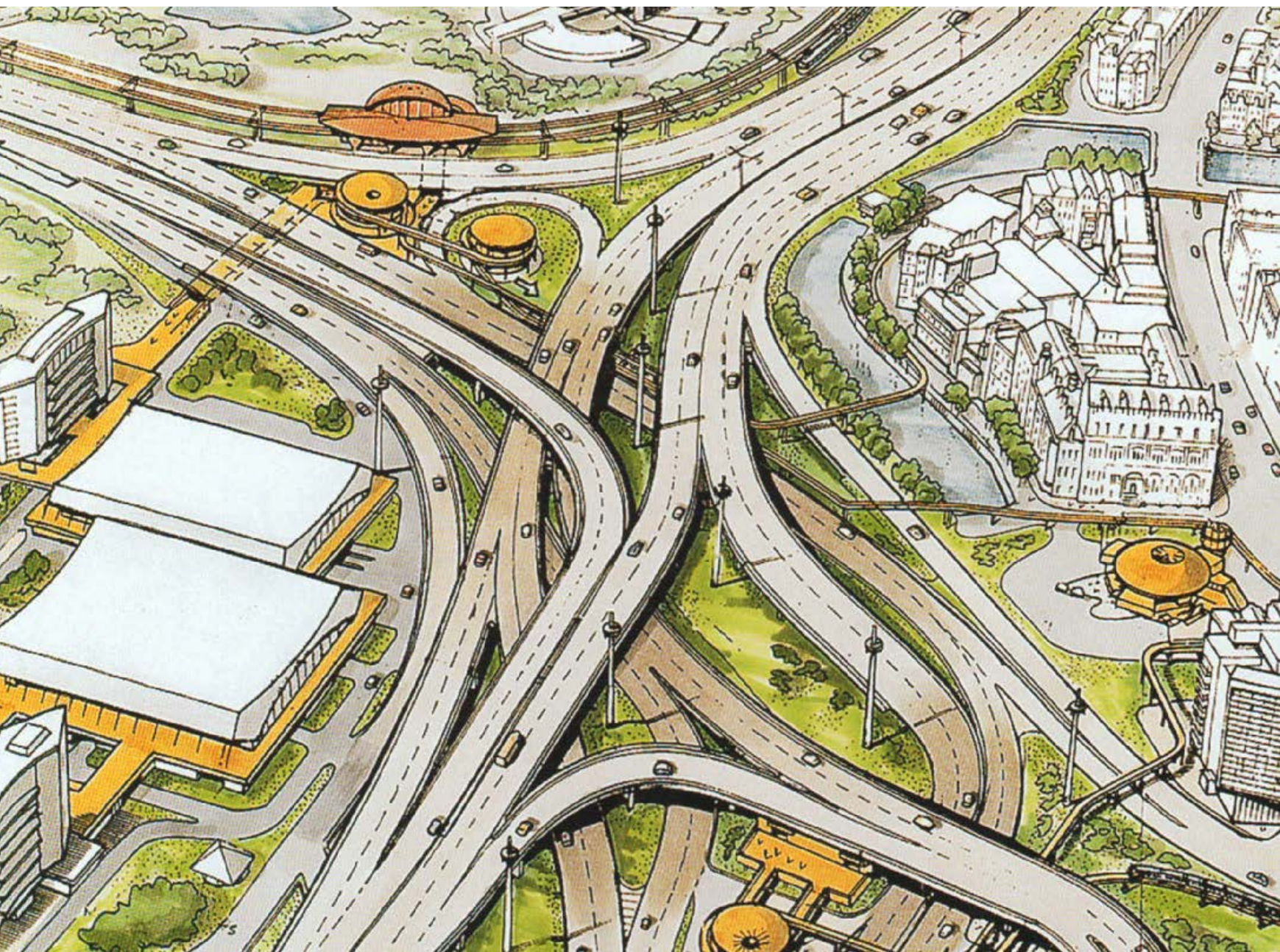
14. EL PRAT NORD

En el año 2008, el Consorcio Prat Nord y el Colegio de Arquitectos de Catalunya convoca el concurso internacional de ideas de El Prat Nord cuyo objetivo era desarrollar una propuesta de ordenación para el ámbito del Eixample Nord de el Prat de Llobregat. El ámbito de aproximadamente 150 ha se encuentra situado en un gran nodo de la red de transporte metropolitana, tanto viaria como ferroviaria y contiene la estación de intercambio modal de acceso al aeropuerto. Los ejes infraestructurales que convergen en este sector son: la autovía C-31, las autopistas C-32 y B-22, las líneas de ferrocarril de cercanías y de alta velocidad y la línea de metro L9-Sud.

El concurso propone el desarrollo del sector de acuerdo con el modelo de ciudad compacta, compleja e integradora, que combine usos residenciales, comerciales, terciarios y de actividades económicas que ponga en relación el núcleo urbano de el Prat con las 900 ha de espacios naturales y agrícolas del entorno. Entre los objetivos específicos, las bases del concurso inciden en la superación de la barrera que supone la autovía mediante su cobertura de modo que los tejidos urbanos existentes, los nuevos desarrollos y las estaciones intermodales de transporte público, dispongan de una continuidad y conectividad adecuada.

La relación entre el nuevo desarrollo y el núcleo urbano de el Prat no es posible con la presencia de la autopista C-31. Las bases del concurso sugieren soluciones de soterramiento o semisoterramiento de la vía, sin embargo la propuesta 6+6 propone una alternativa inédita, una autopista elevada a 15 m sobre el nivel del terreno que permita la continuidad topográfica de las vías que conectan el centro con el Parque Agrícola. De este modo, los espacios inferiores del viaducto, “amplios y luminosos”, podrían acoger edificios de servicios y de equipamiento. Manuel de Solà-Morales propone que la gestión del suelo bajo el viaducto recaiga en la administración en forma de cesión o en base a la explotación propia de los terrenos de dominio público que suponen 140.000 m² de techo útil.

La construcción del viaducto permitiría distanciar la polución acústica y atmosférica del nivel del suelo donde se sitúa la red local y peatonal de circulación. Además, la experimentación con tipos edificatorios que combinen arquitectura e infraestructura están en la vanguardia del europeas como Londres y Frankfurt, o universales como Tokio y Shanghai. Manuel de Solà-Morales en este proyecto apuesta por la integración de la ciudad dinámica del flujo y la ciudad estática de la arquitectura, haciendo visible el canal de circulación en altura y enfatizando la relación con el resto de ordenaciones espacial. Un modelo de desarrollo urbano comprometido con el valor estructurante de la infraestructura de transporte, también como pieza arquitectónica.



15. CONCLUSIONES

El individuo moderno es, ante todo, un ser humano móvil. A esto ha contribuido la mejora en la tecnología de transporte, especialmente la socialización del uso del automóvil, y la colonización de la actividad urbana por el territorio, como consecuencia de los procesos de metropolización regional. El nomadismo contemporáneo se ha convertido en un derecho, en ocasiones contradictorio con el derecho a la ciudad. Porque las ciudades son el producto espacial de la sociedad que las habita, pero la metrópolis moderna parece haberse escapado de su control. Por lo tanto, reivindicar el derecho a la movilidad y el derecho a la ciudad conlleva una visión integral de la red de transporte y la red urbana en favor de un modelo de ciudad compacta, próxima y mixta, en definitiva, pensada desde la escala humana y una relación equilibrada entre lo móvil y lo sedentario.

La planificación integrada de la movilidad y la ordenación espacial no es inédita, sino que está en el origen mismo del urbanismo moderno. Ingenieros y Arquitectos reflexionaron sobre la inclusión de los nuevos sistemas de transporte en la ciudad. El chaflán de Ildefons Cerdà para el Eixample de Barcelona y la Glorieta de Eugène Hénard para el centro de París son dos proyectos ejemplares que solucionan los conflictos de la gestión de la circulación en el cruce e integran actividad urbana en un marco arquitectónico simbólico y monumental.

En la actualidad, la interacción entre movilidad y actividad urbana responde a un ciclo retroalimentado en el que el incremento de la intensidad de tráfico puede conllevar un incremento de la densidad urbana, y viceversa. Frente a un modelo de ocupación disperso, de baja densidad, depredador de suelo, un desarrollo urbano orientado a la red de transporte es una alternativa viable basado en una estructura de centros compactos, mixtos y densos conectados mediante redes más eficientes e interconectadas. La posibilidad de intercambio modal entre diferentes medios de transporte, públicos y privados, motorizados y no motorizados, colectivos e individuales, es una oportunidad de poner en relación flujo de transporte y actividad urbana.

Carretera y ciudad, movilidad y ordenación espacial son dos disciplinas obligadas a integrarse en favor de un territorio funcional y equilibrado. Soluciones de carácter cosmético realizadas a posteriori del proyecto viario o del proyecto urbano no hacen más que evidenciar la necesidad de acuerdo. Un acuerdo entre administraciones públicas, profesionales, agentes económicos y sociales; que permita la elaboración de un nuevo modelo urbano, o por lo menos trace un camino de futuro hacia el cual conducir nuestras ciudades.

A MEDIO CAMINO

ANDREU ULIED

CAMINOS DEL MONTSENY

Los sábados por la mañana me levanto con el sol, me visto de ciclista y, después de revisar el nivel de aire de los neumáticos y engrasar un poco la cadena, monto en mi bici de montaña y salgo a recorrer los caminos del Montseny, aún cubiertos de niebla. Me parece un gesto simpático que la Junta del Colegio haya diseñado una ropa ciclista bonita y de buena calidad, el *coulotte* negro con ribete rojo y el escudo de los caminos, canales y puertos discreto estampado en gris, y el maillot de un rojo brillante. Con el nombre o la marca del Colegio: “Camins.Cat”, le dices a todo el mundo que ve y que te lee que eres miembro de un grupo de aficionados a los caminos de Cataluña, lo cual es cierto. En cuestiones de ropa y de uniformes los ingenieros de caminos hemos cambiado mucho, en siglo y medio, porque del uniforme oficial, de solemnidad napoleónica, que aún hoy se puede admirar en la sede del Colegio, expuesto en un viejo armario acristalado, hemos pasado a la ropa ciclista.

A través de campos de maíz, antes de girasol, me dirijo hacia la ermita de Sant Jaume de Viladroguer, donde se casó mi hermana, y justo después de pasar por el puente de piedra, de un solo arco, tan antiguo como la propia ermita, del siglo XI, dejo el camino asfaltado y tomo otro camino, de tierra, muy empinado. Será el primer esfuerzo serio de la jornada que tengo por delante.

Durante estos últimos años se han ido asfaltando muchos de estos caminos; son obras de poco presupuesto que resuelven el drenaje en precario; se limitan a compactar el terreno y a extender una capa de unos cinco centímetros de asfalto, a veces más, o menos. No sería mejor hacer justamente lo contrario, ahorrarse el asfalto y resolver bien el drenaje, reduciendo la inversión inicial y aumentando después el gasto en mantenimiento y conservación? Podría ser así, pero es más fácil encontrar subvención para invertir en un momento dado que gestionar un programa de mantenimiento.

En fin, sigo por el cauce de piedra de una riera, estos días a principio de otoño con algo de agua, y por senderos estrechos a la sombra de encinas y robles, hasta las urbanizaciones de El Muntanyà, calles de ocho o diez metros por las que pasa de vez en cuando un vehículo a toda velocidad, visto y no visto. Del vehículo sólo

ves el ruido!, dice Teresa, mi mujer. Por aquí, cerca del campo de golf tenía casa Johan Cruyff, del que acaban de publicar sus memorias póstumas, y medio equipo del Barça, en los años ochenta. La cruz de término queda a un lado, la entrada del pueblo es una rotonda con la estatua del motociclista Alex Crivillé en el centro. Después de cruzar la carretera comarcal, una bellísima carretera de cinco metros de anchura que asciende el Montseny entre grandes plátanos, curva tras curva hasta arriba el Collformic, continuo por un camino más bien llano hasta el castillo y la ermita de El Brull dejando a mano derecha un estanque de aguas quietas, algún sauce gigante, bosques tupidos de robles y encinas, y resoplando y dando tumbos para no poner pie a tierra en un esfuerzo agónico llego hasta la cima del llamado Matagalls Xic. A veces me encuentro gente que busca setas por el monte y cazadores de jabalís, algunos pocos paseantes distraídos, otros ciclistas mucho más rápidos que yo. En algunos caminos tengo que levantar una cadena, para poder pasar por debajo. Hay carteles manuscritos que te amenazan con la furia de una jauría de perros. Los derechos de paso son confusos, casi siempre. Se supone que estoy en el Parque Natural del Montseny, que la Diputación ha ido poco a poco comprando terrenos, pero la inmensa mayoría de la montaña es privada, y es muy fácil meterse en la casa de alguien y tener que salir corriendo para escapar de los dichosos perros. Las relaciones con los propietarios forestales nunca son fáciles porque los beneficios de explotar el bosque son escasos, y mucho mayores los costes de conservación. Algunas veces me he perdido por estos caminos con Xavier Font, compañero de estudios, proyectista de puentes singulares; fue él quien me introdujo al ciclismo y a esta montaña. Xavier conoce bien estos caminos, es de Sant Celoni, en la otra vertiente del Montseny, pero más de una vez nos hemos perdido por estos caminos, y se nos ha hecho de noche.

Hace treinta años, cuando venía los fines de semana a estudiar hidráulica o geotecnia o cálculo de estructuras metálicas, pongamos por caso, no hubiese podido subir hasta aquí en bicicleta, ni siquiera por la carretera con mi vieja Orbea de color verde; entonces no existían teléfonos móviles ni GoogleEarth, para orientarse; con los mapas tan cuidados de la editorial Alpina tenía suficiente. En treinta años la tecnología ha cambiado de un modo extraordinario, ¡una barbaridad!, decían los abuelos. En los próximos veinte años utilizaremos vehículos eléctricos más inteligentes, con conducción automática o asistida. No será lo mismo, pero ya hay bicicletas eléctricas para poder subir donde sea, paseando. Es una buena perspectiva, con ochenta años o más, los que sean, si mantienes el sentido del equilibrio, podrás seguir subiendo en bicicleta hasta aquí arriba.

En uno de los pequeños pantanos que abastecen de agua al municipio hay un cartel enorme del Plan de Obras y Servicios de la Generalitat que anuncia el asfaltado

de más caminos de la red de caminos de El Brull. Mi primer trabajo remunerado consistió en inspeccionar las obras de ese Plan, precisamente, que entonces se llamaba Único porque había otro, el Pla d'Acció Municipal de la Diputación. Fue durante un verano. Visité los cuarenta y siete municipios de la comarca en un mes, recorrí muchas carreteras y bastantes caminos. ¿No podían hacerse todas estas pequeñas obras con un poco más de sensibilidad, integrarse un poco mejor en el paisaje? Recuerdo un texto de Camilo José Cela que pedía eso mismo a los ingenieros de caminos: ¿qué les costaría, se preguntaba Cela, ponerle un poco más de cuidado a lo que hacen? En *Viaje por el Pirineo de Lérida* termina Cela pidiendo por favor a los ingenieros de la Empresa Nacional Hidroeléctrica del Ribagorzana, donde trabaja mi padre, por cierto, la contratación de un “poeta lírico”. Supongo que Cela defendía la poesía lírica para compensar de un modo extremo la racionalidad tan abstracta y también extrema de los ingenieros, nuestra indiferencia, por no decir a veces menosprecio, ante todo lo que no ha sido calculado, proyectado, o planificado. Entre la poesía lírica y la razón abstracta, la filósofa María Zambrano, autora de *Senderos*, y de *Claro del bosque*, defendía la llamada “razón poética”. De la “razón pura” de Kant a la “razón poética” de Zambrano hay un largo trecho de varios siglos.

Desde aquí arriba el Matagalls Xic, casi todo ya es cuesta abajo. A mayor velocidad, es evidente, más excitación y menos capacidad de reflexión; más fácilmente te puedes caer, o perderte en el bosque, siguiendo uno de esos muchos caminos que conducen a ningún sitio. Hace dos semanas Xavier se cayó y casi se rompió un par de costillas. Puede que uno de los problemas del mundo en que vivimos sea el exceso de velocidad con el que nos movemos, y de ahí el elogio a la lentitud de tantos intelectuales, sobre todo franceses, y el prestigio recuperado de todo aquello *slow*, desde la comida al urbanismo. Vísteme despacio que tengo prisa, escribió Lope de Vega. ¿Y qué vamos a hacer en Madrid tan pronto?, se preguntaba aquella buena señora sevillana cuando le hablaron del AVE. Por eso no todos los caminos deben convertirse en carretera, y algunas carreteras podrían reconvertirse en caminos. ¿Por qué no?

Cuando trabajaba en los planes de caminos de las comarcas de montaña de Cataluña, con Jordi Prat, me parecía que cuantos más caminos rurales se pudiesen condicionar como carreteras, mejor. Veinte años más tarde, trabajando en el Plan de Carreteras de la Diputación de Tarragona nos pareció justamente lo contrario, que cuantas menos carreteras construyas, mejor; solamente cuando los caminos tengan un tráfico elevado y peligrosidad. Con todo y con eso, identificamos más de cien kilómetros de caminos en la provincia de Tarragona susceptibles de ser acondicionados como carreteras, y eran demasiados kilómetros, muchísimos. Propusimos pequeñas intervenciones de señalización y de mejora de seguridad en los

caminos; en el caso de entornos naturales o de montaña o en pendiente, carreteras locales con cinco metros de anchura de plataforma ya nos parecían aceptables, incluso con menos de cinco metros contando con apartaderos en lugares de buena visibilidad. Pero ahí nos perdimos en un laberinto jurídico. Porque la normativa de diseño y de gestión de carreteras es obsoleta y aún mantiene la visión que se tenía de las carreteras en los años sesenta y setenta; todavía hoy las carreteras principales o básicas nos parecen más importantes que las carreteras llamadas *secundarias*. Aplicando la normativa de diseño de carreteras vigentes, la inversión necesaria para acondicionar la red viaria local de la provincia de Tarragona sería de unos quinientos millones de euros, y la Diputación necesitaría un siglo para poder llevarlo a cabo al ritmo de inversión de estos años, aún sin catalogar como carreteras los cien kilómetros de caminos. Acaso los Consejos Comarcales o la propia Diputación, podrían poner en marcha planes de actuaciones para mantener en buen estado y conservar caminos, sin necesidad de transformarlos en carreteras. En esta comarca, llamada Osona, existe un plan así, que realizó la Diputación de Barcelona y el Consejo Comarcal, pero algunos municipios siguen asfaltando caminos por su cuenta con subvenciones del Plan de Obras y Servicios de la Generalitat, o del Departamento de Agricultura, en algún caso por particulares.

Ya en casa, me he sentado cerca de la chimenea; refresca, a finales de Octubre. He consultado algunos libros que tengo amontonados sobre el antiguo piano de mi padre, elogios a la lentitud, al paseo sin prisa, a la conversación reposada. Puedo rastrear la “razón poética” de Zambrano en la “razón vital” de Ortega, inspirada a su vez en los últimos libros de Heidegger, *Sendas perdidas*, *Caminos del bosque*. Claro que también tengo otros libros que elogian la velocidad, la exactitud, la visibilidad y la multiplicidad, las características de la literatura del segundo milenio, según Italo Calvino. Este es el conflicto en el cual vivimos: entre el estar y el pasar de largo lo más rápido posible, entre el lugar y el *no-lugar*, dice Marc Auger. No puede haber nada más inculto, menos civilizado, me parece, que un paisaje sin lugares, donde todos los caminos estén asfaltados y todas las calles sean la misma. O acaso sí, un lugar del todo inaccesible, decía Kevin Lynch.

No puede decirse que en una calle en la que no se pueda conversar por el ruido del tráfico no exista comunicación; puede que dentro de los coches la gente escuche la radio, hable por el móvil, o si viajan varias personas, que hablen animadamente entre sí. Lo que sí hay es un cambio del espacio donde se produce la comunicación, no es ya un espacio público abierto a todos, son muchos espacios de acceso restringido. De ese modo la ciudad deja de ser ciudad, tal y como la hemos entendido en Europa hasta ahora. Antes vivíamos en granjas, después en ciudades y acabaremos un día todos viviendo en Internet, afirmó en una ocasión uno de los

fundadores de Facebook. Puede ser inevitable, pero no estoy seguro que sea buena idea. Mejor sería que la información circulase a la velocidad de la luz, y las personas caminando un paso tras otro.

EL PASEO DE LA MUNTANYETA

Hace diez años redacté el proyecto de mi calle, el típico proyecto de una calle cualquiera de cinco metros de calzada con aceras de metro y medio, prolongación de otra calle idéntica del mismo pueblo o de cualquier otro pueblo. El proyecto no tenía nada de especial, y de eso se trataba, que pudiese ser aprobado sin más discusión por el Ayuntamiento. Además, entonces, hace diez años, incluso a mí me parecía razonable que se aplicasen criterios de uniformidad a todas las calles de un mismo pueblo. Ni siquiera pensé otra cosa. Firmé el proyecto y lo presenté. Era un documento pesado, con tapas de cartón y capítulos copiados literalmente de otros proyectos semejantes, páginas de cálculos tan detallados como irrelevantes, muchísimos documentos anejos. No he visto más ni consultado nunca aquel proyecto. El proyecto es lo de menos, me dijo el alcalde de entonces, cuando vengan las máquinas y empiecen las excavaciones, ya iremos viendo y decidiendo qué hacer. He tenido suerte que la calle no haya sido un desastre, con estos antecedentes.

Pero la calle en cuestión pasa por detrás de la casa de mi abuelo, entre su parcela y la pequeña montaña del pueblo, o lo que queda de ella. Además de proyectar la calle, yo debía pagar la urbanización, de acuerdo al convenio urbanístico que firmé en nombre de mi padre. Es una calle que sólo sirve de acceso a mi casa y a un par de casas más, y todas ellas tienen por delante acceso a la carretera comarcal BV-5303. Nunca pasarán más de dos o tres coches al día por mi calle, los de Agustí y Javi, mis vecinos, y sus amigos los sábados por la tarde. La primera fase de las obras consistió en excavar casi quinientos metros cúbicos de roca, a veinticinco euros el metro cúbico, para abrir un vial de seis metros y medio de anchura. La pendiente del desmonte quedó totalmente vertical en muchos tramos y tuvimos que construir un muro de piedra seca de cincuenta metros de longitud y dos metros de altura para evitar un terraplén, por el lado de mi casa. Soterramos todos los servicios, que anteriormente pasaban volando sin orden ni concierto, soportados por postes de madera en precario, de acuerdo a las condiciones abusivas de las compañías de telefonía, electricidad y agua. Entonces cambió radicalmente mi visión de lo que debería hacer en la segunda fase. Resuelto el acceso, soterrados los servicios, más que seguir urbanizando pensé en todo lo contrario. Claro está que el coste de todo lo que ya había ejecutado me iluminó la mente, por decirlo de algún modo, y en aquel preciso, como San Pablo, caí del burro.

Si debía de seguir pagando más obras en la calle sería poco a poco, y para restaurar la vegetación, si acaso, para retener y laminar el agua de lluvia en la montaña, y recrear en lo posible el paisaje que yo había visto toda la vida hasta entonces. Asfaltar la calle, ponerle bordillo y aceras, y farolas como las que hay en el resto del pueblo, me parecía un despropósito, algo fuera de lugar, tan loco como andar en bicicleta de montaña vestido con el uniforme napoleónico del Cuerpo de Ingenieros de Caminos. El nuevo gobierno municipal tras las elecciones aceptó que en lugar de aceras plantásemos hierba, y lledoners (en español latoneros, según el diccionario electrónico que tengo más a mano, o lodones). En lugar de construir una cuneta de hormigón para canalizar el agua o un pequeño colector enterrado, hicimos un muro-jardinería de casi cien metros a lo largo del borde del desmonte excavado, de piedra seca, y sembramos plantas aromáticas, matas de encina y laurel, un sistema de riego gota a gota. El Ayuntamiento dio continuidad a la calle para crear un itinerario de paseo alrededor de la pequeña montaña, y hoy a los ojos de casi todo el mundo la calle ya no es una calle a medio construir, sino un camino donde los vecinos empiezan a pasear. Muy de vez en cuando pasan en coche Agustí o Javi, y nos saludamos.

Está en curso una modificación puntual del plan urbanístico para clarificar la ordenación del entorno, y consolidar la montaña como un parque equipado. He aprendido lo obvio: que un buen proyecto de calle ha de ser un buen proyecto de espacio público, y de paisaje urbano, que un buen proyecto de urbanización también puede incluir desurbanización. Que es necesario pensar más allá de los límites del proyecto, y que al mismo tiempo es bueno dejar aspectos abiertos, no diseñados, para que se vayan concretando poco a poco. Recuerdo que Manuel Castells propuso esto mismo en el congreso de la asociación europea de urbanistas que ayudé a celebrar en Barcelona, en el año 2003: el urbanismo abierto, inacabado, nos decía Castells, no totalmente diseñado. No es tan fácil, sin embargo, llevar esta idea a la práctica porque un sinfín de normativas nos condicionan, incluso la lógica del AutoCad te lleva a las soluciones técnicas estándares. Lo he vivido estas últimas semanas con Xavier, rehaciendo los dos aquel viejo proyecto de calle cualquiera, ahora como proyecto paisajístico, digámoslo así, artificializando lo mínimo indispensable, y restaurando en todo lo posible el entorno. Parece evidente, pero la verdad es que a la gente le cuesta aceptar que en una calle pueda haber charcos varios días al año, que un coche de los que hoy utilizamos, de casi dos toneladas de peso, cuatro metros y medio de largo y casi dos de ancho, para dar la vuelta deba hacer una maniobra de más, y que a demasiada velocidad levante polvo. Antes de la próxima primavera aterrazaremos un poco más la montaña, y plantaremos *boix* (creo que se llama boj, en español, como el libro de Cela: *Madera de Boj*). Un buen proyecto, una

buena obra nunca debería dejar de preocuparte, es como un hijo, por más que esté lejos de ti, tú siempre lo tienes presente y de algún modo lo debes cuidar.

Más allá de la pulsión lírica o calculista, del arte por el arte o del cálculo interesado, me gustaría pensar que es posible una ingeniería romántica como la que para mí simboliza el proyecto de *Pont Trençat* de Xavier en Sant Celoni, que integra nuevos materiales y tecnologías de construcción con el propósito de recrear un paisaje cultural que forma parte de la memoria de la gente desde hace siglos. Un arco del puente fue destruido durante la guerra del francés, en 1811, y así permaneció el puente durante más de siglo y medio, y por eso se conocía como el puente roto (*trençat*, en catalán). Xavier proyectó el arco destruido de acero cortén, de acuerdo a la forma que había tenido el arco de piedra, y diseñó el entorno y la iluminación de un modo discreto. Es un monumento que puede ser admirado, pero el puente ha recuperado su función, su utilidad y su dignidad de puente, la gente lo usa para pasar a través del cauce del río y lo sigue llamando *Pont Trençat* porque lo fue, y porque de algún modo, con un arco de piedra y otro de acero, al mismo tiempo es un puente y está roto. Esta ingeniería romántica, racional y también poética, no puede ser una actividad industrial, aplicación de soluciones generales, o estándares. Richard Senet tiene un libro muy optimista sobre esta misma cuestión: *The Craftman*, en el que hace un elogio del trabajo artesano, revirtiendo la separación estricta entre las *Beaux Arts* y la Ingeniería, entre el Arte Moderno y la Ciencia, propio de la Ilustración. El artesano practica la “razón poética” de María Zambrano. Puede parecer una quimera en el mundo de los proyectos de ingeniería civil, pero no lo es el mundo mucho mayor de los proyectos de arquitectura. Por eso mismo, me decía Xavier, en la mayoría de los concursos de puentes en Europa es obligado que se responsabilice del diseño un arquitecto hoy en día. Y con ello el mundo le da la razón a Cela, cuando pedía a la ENHER la contratación de un “poeta lírico”. A los ingenieros no se nos puede dejar solos.

LA CARRETERA BV-5303

Mientras escribo, escucho el estrépito de los vehículos circulando por la carretera que pasa por delante de casa, la BV-5303, una carretera local de la Diputación de Barcelona que fue transferida a la Generalitat y se convirtió en carretera comarcal de la noche a la mañana. Nadie piensa en ampliar sus 5 metros de anchura, ni en retranquear alguna de sus curvas, pero según la normativa vigente cualquier nueva actuación que se hiciese debería de tener una plataforma de 9 metros de anchura, en terreno plano o ondulado, carriles de 3 metros y medio, arcenes de un metro. Con todo y con eso, ampliando de 5 a 9 metros, la carretera seguiría teniendo un

carril por sentido y sólo aumentaría su capacidad suponiendo que la velocidad de los vehículos fuese aun mayor de lo que ya es. La aplicación literal de la normativa de carreteras, es decir, palabra por palabra, de un modo fundamentalista, sería un despropósito en el Montseny.

Por aquí delante de casa pasan a diario más de 4.500 vehículos, y aunque hace unos meses la Generalitat colocó una señalización vertical indicado 50 km/h, ningún vehículo que no sea una bicicleta circula a menos de esa velocidad. Los ingenieros de la Generalitat están estudiando medidas para incentivar la reducción de la velocidad de los vehículos, básicamente mejorando la señalización horizontal, cambiando las líneas continuas por discontinuas, ampliando la línea central de la calzada para reducir la percepción de la anchura de carril, que ahora es de 2,5 metros. Una buena solución sería que el Servicio Catalán de Tráfico instalase un radar de control de velocidad. El Ayuntamiento piensa realizar una serie de pequeñas actuaciones en la actual travesía para ir cambiando la percepción de los conductores, de forma que sean más conscientes de que están cruzando un pueblo. Porque la carretera BV-5303 cuando cruza el pueblo, y todas las carreteras cuando cruzan cualquier pueblo, deberían parecer lo que son, calles con vecinos.

LA VARIANTE

La construcción de una variante sería la solución definitiva del problema. El estudio informativo está ahora en información pública, desde agosto. Es una variante afortunada donde las haya, porque tendría una longitud menor que la travesía, de unos 2 kilómetros, pasaría a través de una zona no urbanizable, bien adaptada al relieve y afectaría solamente a tres grandes propietarios. Puede que el presupuesto de ejecución material fuese de unos 3 millones de euros, contando que implica construir un puente sobre el ferrocarril y un par de pequeñas rotondas. La cuestión es si debe diseñarse el tramo de la variante con 9 metros de ancho, como podría deducirse de la normativa, o de 5 o 6 metros, con las características del resto de carreteras del Montseny. En las alegaciones del Ayuntamiento al estudio informativo, propusimos una anchura de 6,5 metros, con carriles de 2,75 metros de anchura y arcenes de medio metro. Como sea, también es cierto es que existe un Plan territorial de la llamada Cataluña Central, elaborado antes de la crisis del 2008, que plantea tanto una variante norte como otra sur, y el propio plan urbanístico del municipio, que no plantea variantes, o sí, una llamada “vial perimetral” que tiene un trazado casi de carretera comarcal pero que en realidad es una calle que serviría de soporte a un desarrollo urbano desmesurado, hoy en día. En este sentido, la solución final que los ingenieros de la Generalitat han incorporado a su estudio informativo

es mucho más razonable de lo que indica la lectura de la planificación territorial y urbanística vigente en su literalidad. Los sueños de la razón de normativas y de planes, como bien sabía Goya, producen monstruos, sobre todo cuando no se actualizan con la premura y la participación ciudadana e institucional, necesarias. Es curioso, me digo, que haya terminado yo defendiendo de algún modo el proyecto concreto, frente a los planes abstractos y generales, como hacían, enfáticamente, los arquitectos en la Barcelona de los años noventa. No es así. Lo que sugiero es algo más difícil de argumentar, y que se parece mucho más a la “razón poética” de María Zambrano que a la “razón pura” de Kant, y que no tiene por supuesto nada que ver con la irracionalidad.

He calculado la rentabilidad social y económica de la variante como caso de estudio en el curso de evaluación de inversiones, proyectos urbanos y de transporte, que organizamos con el Colegio de Ingenieros de Caminos y el Colegio de Economistas de Cataluña, casi ciento cincuenta profesionales han seguido las cinco ediciones del curso, que se celebra cada otoño. El retorno social de la inversión en la variante es muy elevado teniendo en cuenta solamente los ahorros de tiempo y de costes operativos de los conductores, puede que la tasa interna de retorno supere el 15% adoptando los criterios más conservadores para el análisis. Pero aún así se produce la paradoja de que si la variante permitiese que la velocidad de circulación de los vehículos fuese 80 km/h, en lugar de, digamos, 65 km/h, la rentabilidad sería aún mayor porque los ahorros de los conductores superarían en mayor medida el pequeño incremento marginal de los costes de construcción y mantenimiento. De hecho, el trazado de la variante es una curva muy abierta y en suave pendiente, con campos y bosques a lado y lado, y sólo con la amenaza de un radar podría evitarse que los vehículos circularan a más de 80 km/h. Que el mayor beneficio atribuible a la variante sea que cada vehículo se ahorraría sobre el minuto y medio de tiempo, suponiendo que cada hora ahorrada de tiempo se valora en promedio en 12 euros por persona, parece difícil de entender para la mayoría de gente. Cuesta creer que la variante se construye fundamentalmente para que los conductores se ahorren en cada viaje 1 minuto y 30 segundos. Por otro lado, evaluando de este mismo modo los proyectos de variante, sólo estarían económicamente justificadas nuevas variantes cuando las condiciones del tráfico en la travesía fuesen pésimas. La cuestión, en el fondo, es que el proyecto de una variante es tanto como un proyecto de transporte como un proyecto urbano y de paisaje, y que la mejora urbanística asociada debe de integrarse en la evaluación. Lo interesante de esta disquisición no es tanto el cálculo económico, sino la discusión sobre la naturaleza de un proyecto de ingeniería, sobre su objetivo.

Propuse al Ayuntamiento que encargase a un equipo de urbanistas el estudio del

encaje urbanístico de la variante, y una nueva propuesta de modificación del plan urbanístico para maximizar su impacto positivo en el pueblo. A partir de este análisis sugerimos mejoras en el proyecto de variante a los ingenieros de la Generalitat, en particular en relación con su conexión con la trama urbana, y con los usos posibles en los terrenos situados entre la traza de la variante y la zona urbana. ¿No debería incorporar cualquier estudio previo o informativo de una variante la propuesta de modificación urbanística?, ¿no deberían los proyectos de variantes ser elaborados conjuntamente, y desde un inicio, por las administraciones competentes de carreteras y los municipios y las cuestiones viarias y urbanísticas, paisajísticas, así como también las más estratégicas de desarrollo económico local? Los estudios informativos muy a menudo resultan incomprensibles, porque entre las muchas páginas de cálculos y reportajes de mediciones topográficas, previsiones de tráfico y prospecciones geotécnicas, no se encuentra una explicación del por qué era necesaria la variante y en base a qué criterios sociales, económicos, ecológicos, y por supuesto urbanísticos, territoriales, se ha proyectado. De todas estas cuestiones, y muchas otras, discutiremos largo y tendido en el grupo de trabajo sobre gobernanza de infraestructuras y servicios públicos que hemos constituido los Colegios de Ingenieros de Caminos y Economistas de Cataluña, durante el 2017.

Es muy posible que la Diputación de Barcelona encargue el proyecto constructivo de la parte de la variante catalogada como carretera local. Sería una buena noticia, porque la Diputación de Barcelona se distingue por el cuidado con el que actúa sobre la red viaria local y el apoyo que da a los municipios en cuestiones de movilidad urbana, entre otras. Sus ideas se plasmaron en el *Libro Blanco de la Vialidad Intermedia* presentado durante un congreso de la Asociación Española de Carreteras celebrado en Barcelona, hace ya unos cuantos años. No creo estar escribiendo ahora nada demasiado distinto de lo que aquel libro ya contiene.

LA AUTOVÍA C-17

Para regresar a Barcelona, puedo tomar el tren en la estación del pueblo, como hacía mi abuelo, viejo ferroviario comunista que viajaba gratis desde que fue readmitido en la Renfe y que nunca se compró un coche; o más cómodamente, y mucho más rápido, en coche, a través de la autovía C-17, una de las pocas autovías construidas por la Generalitat, ya en los años ochenta. Cuando mis hijos eran pequeños íbamos en tren, con las bicicletas. Ahora siempre en coche. Siempre pienso que la C-17 es uno de los proyectos viarios más desgraciados de Cataluña. Existía una antigua carretera que seguía el cauce del río Congost, a media ladera a lo largo de un valle muy estrecho pasando por pueblos que habían sido de veraneo,

como Aiguafreda, o El Figaró, Centelles. Hoy la autovía sobrevuela el río Congost para evitar las antiguas travesías de los pueblos, y en los tramos interurbanos sigue la traza de la antigua carretera, las curvas son demasiado cerradas, los sentidos de circulación en la calzada están separados por una barrera *new jersey*.

Coincidiendo con la caída de una roca en la carretera, que días atrás ocasionó la muerte de una conductora, según La Vanguardia el alcalde de Centelles ha hecho llegar a los ayuntamientos vecinos la propuesta de construcción de dos túneles en el valle del Congost, en un tramo donde los desprendimientos y los accidentes son muy habituales y ocasionan continuas retenciones y colas kilométricas. A propuesta de la plataforma *Stop Accidents C17* nacida a raíz del citado accidente mortal y de los diferentes desprendimientos, en días próximos, usuarios de la C17 y de los pueblos vecinos de la zona más problemática (entre Centelles y la Garriga) cortarán la vía, “con toda la cobertura legal necesaria y sin producir incidentes”, como acción de protesta.

Paradójicamente, al otro lado del cauce del Congost pasa el ferrocarril a media ladera, proyectado y construido a finales del siglo diecinueve. Creo que Ildefons Cerdà, nacido en Centelles, participó en su proyecto. ¿Cómo no sentir nostalgia por las magníficas obras de la ingeniería decimonónica, de los ferrocarriles a los faros, circulando por la C-17? Hay algunos proyectos más terribles todavía, como el viaducto sobre la estación ferroviaria de Caldes d'Estrac, por ejemplo, inaugurado por Fraga Iribarne, y tan elogiado en su día por el periódico La Vanguardia y que tan conveniente nos resultaba cuando íbamos de Barcelona a las playas del norte del Maresme. También podría mencionar buenos proyectos, por supuesto: los túneles y la autovía de Vallvidrera, las Rondas de Barcelona.

Trabajando con Albert Serratosa en el Plan territorial metropolitano de Barcelona aprendí que la palabra “autovía” estaba prohibida, no podía ni mencionarse en su presencia. Para Serratosa, la red viaria se compone de vías de características distintas y complementarias, de las autopistas con accesos a distinto nivel, tráficos de media y larga distancia, segregadas de los usos colindantes, las carreteras que él llamaba *cívicas o integradas*, con intersecciones a nivel, que podían tener usos colindantes en tramos, y urbanidad, a las carreteras rurales o de montaña, las avenidas urbanas o metropolitanas, los paseos marítimos, las calles y los caminos. Las autovías no existían como categoría o especie viaria: o autopistas segregadas o vías cívicas integradas. Mientras las autopistas debían tener características geométricas estrictas, las carreteras *integradas* –locales o comarcales o básicas, se deberían proyectar en función del entorno, ya fuese más urbano, suburbano o rural, en el que transitan, integrando servicios de transporte público, espacios para estacionamiento, caminos de bicicleta, aceras y paseos.

En el fondo, el proyecto de una carretera es el resultado de una propuesta de recreación del paisaje, y responde a una estrategia territorial; reducirlo a la aplicación de una normativa técnica que se resuelve en un cálculo geométrico informatizado es un contrasentido. Existen aspectos de funcionalidad y seguridad incluidos, y criterios económicos a considerar muy seriamente, pero la naturaleza de un proyecto de carretera –de cualquier proyecto de ingeniería– no es solamente eso.

LA AUTOPISTA AP-7

La “autovía” de l’Atmetlla desemboca después en la AP-7, una de las primeras autopistas construidas en España en los años setenta (la primera fue el tramo Barcelona-Mataró). Pocos proyectos de ingeniería civil son tan admirables, en Cataluña, me parece, y han tenido un impacto económico tan positivo, como esta autopista. Servía para conectar Barcelona, para favorecer las exportaciones industriales y el desarrollo del turismo. Y se trazó de un modo ejemplar, por ingenieros alemanes, creo recordar. La historia del peaje es más complicada, por supuesto. El modo de financiación responde más a las necesidades financieras de cada momento que a la optimización del uso de la infraestructura, pero más pronto que tarde todas las autopistas y acaso todas las carreteras serán de peaje, es decir, en función de los kilómetros recorridos, del momento del viaje, del tipo de vehículo recibiremos una factura como la que ya recibimos por los servicios de telefonía, de electricidad o de agua. Este tipo de facturación será un incentivo para un uso más racional o consciente por lo menos de las infraestructuras de transporte.

Las tecnologías de la información y la comunicación, y la energía, están cambiando incluso las categorías que usamos para analizar el transporte. Un convoy de camiones eléctricos y de conducción automática circulando de madrugada uno tras otro por un carril de autopista se parecerá mucho a un tren, lo mismo que un autobús biarticulado eléctrico se parece tanto a un tranvía que a simple vista no se distingue. La diferencia entre los modos de transporte públicos o colectivos y privados o individuales desaparecerá. Las compañías de automoción irán dejando de vender vehículos, empezarán a vender también servicios de movilidad. En Singapur empiezan a circular taxis sin conductor. Los taxistas en México DF se manifiestan violentamente en contra de Uber. Aún hoy tenemos normativas, criterios, recomendaciones, creadas en la prehistoria de los años setenta. El mundo rueda más deprisa que nuestra capacidad de entenderlo, y de adaptarnos. Incluso las palabras nos confunden.

CAMINOS FUTUROS

La ingeniería civil tiene un origen moderno, fue creada durante la Ilustración con el propósito, precisamente, de *civilizar* el mundo, en contraposición a la ingeniería militar. Hoy parece envejecida, en lo que hacemos, en lo que decimos. Y muy desprestigiada en España, tras la crisis económica. Todo aquello que nace está condenado a dejar de existir. Acaso las generaciones de grandes ingenieros de caminos, desde Ildefonso Cerdà a Albert Serratosa, no tendrán continuidad. A partir de ahora, quizás sea necesario repensar el futuro de esta profesión, reinventarlo.

Podemos ser ingenieros civiles o arquitectos técnicos, como los americanos, en un sentido práctico, y en consecuencia los planes de estudio deberían ajustarse para eliminar la teoría excesiva y hacer los estudios más accesibles.

También podemos volver la vista a nuestro origen afrancesado y seguir la pista de la Escuela de París —la *Grande École*—, formándonos como una profesión de prestigio, en la estrategia y la planificación, dirigentes de empresas o de instituciones públicas, conscientes de nuestra responsabilidad social, es decir, de la “razón social”, del por qué, de nuestros planes y proyectos.

Y podríamos incluso mirar más hacia atrás, y reconciliar de algún modo el arte y el diseño, la creación, con la razón y el cálculo, volver a proyectar aplicando no la “razón abstracta” sino la “razón poética”, como los buenos artesanos.

O todo lo contrario, convertirnos en ingenieros científicos, investigadores o especialistas.

No sé hasta qué punto todo ello es compatible, o conveniente. Pero este texto ha llegado demasiado lejos, por lo menos en su extensión, y lo más prudente es que me detenga aquí, a medio camino, en esta encrucijada.



“¡Llevo esperando esto cinco años!”. Esta frase la pronunció un estudiante de la Escuela de Caminos de Barcelona cuando visualizó una *renderización* virtual de la carretera perteneciente a su proyecto final de carrera.

A lo largo de casi diez años que llevo de profesor asociado en la escuela de Barcelona, he realizado la tutoría de casi 200 proyectos final de carrera, y en todo este tiempo he podido tener una estrecha relación con muchos estudiantes, en su última etapa universitaria, a punto de salir al mercado laboral, compartiendo sus inquietudes, sus ilusiones, su energía y en muchos casos sus decepciones.

Debo decir que me quedé sin palabras cuando escuché esa frase. El estudiante había escogido con ilusión como proyecto final de carrera el diseño de la variante de su ciudad natal. Durante varias semanas estuvo planteando diversas alternativas, tanto de trazado, como de tipología de enlaces, y valorando las bondades y defectos de cada una de ellas para acabar decidiendo el trazado definitivo. Un proyecto de carretera es uno de los más completos a la hora de enseñar a proyectar, porque combina una gran variedad de conceptos técnicos: firmes, drenajes, estructuras..., junto con la posibilidad de poner a prueba la capacidad de mostrar una visión global y sinérgica del estudiante.

Ese día, acabábamos de introducir todos los parámetros geométricos de la alternativa ganadora en la aplicación informática que asiste al proyecto de trazado, y le dimos al botón de cálculo de la plataforma. Una vez calculada, el programa ofrece una visualización en 3D, muy sencilla, pero útil para comprobar y observar que todo el laberinto de ventanas, opciones, medidas, parámetros y normativas se convierten en un sinuoso y harmónico desplazamiento por una carretera, dibujada con el aspecto *vintage* de un videojuego ochentero. Esa visualización permite ver si hay algún punto donde no se han introducido bien los datos, y poder así corregir el error, pero cuando estoy enseñando el programa a los estudiantes, la intención con la que les activo el visor es la de mostrar que su trabajo, su propuesta, su carretera, se convierte en una realidad, aunque sea virtual. El proceso de concepción, decisión, dibujo y dimensionamiento, sintetizado en una imagen en movimiento.

En ese momento, cuando el estudiante vio con sus propios ojos el resultado de su trabajo, se quedó inmóvil mirando la pantalla, y con ojos emocionados pronunció la frase “Llevo esperando esto cinco años”. Tengo que confesar que al oír esas palabras, me sumé a su emoción, y durante unos instantes no mediamos palabra, y nos quedamos un rato reproduciendo unas cuantas veces la visualización 3D. Ese momento lo recuerdo como uno de los más gratificantes de todo el tiempo que llevo en la universidad, y también uno de los que me llevó a reflexionar sobre cómo la Universidad lleva a cabo la formación de los ingenieros.

La frase suena mucho más rotunda que la simpática ocurrencia propia del momento culminante de todo su trabajo proyectual, cuando uno se para a pensar el por qué realmente le salió del alma exclamarla. El estudiante estaba a punto de finalizar los estudios de Ingeniería de Caminos y era la primera vez que proyectaba. La primera vez que se le permitía diseñar, proponer, decidir, y generar partiendo de una idea, una solución global a un propósito de cambiar una realidad existente.

La actividad que mejor define la profesión de ingeniero de caminos es la inquietud y el deseo de cambiar las cosas para lograr un escenario mejorado donde las actividades humanas resulten más fáciles y accesibles. Los científicos buscan entender la naturaleza de las cosas y los ingenieros queremos cambiarlas para mejorarlas. Y ese cambiar las cosas se lleva a cabo mediante procesos de análisis de las características de la realidad actual y el diseño de las propuestas de mejora.

Diseñar, proyectar, pensar, decidir... son elementos fundamentales en la actividad del ingeniero, y son conceptos que deben aprenderse y comprenderse en las etapas de formación. Por esto, la ocurrente frase del estudiante es un síntoma claro de la escasez de la actividad proyectual a lo largo de la carrera.

No se trata ni mucho menos de un caso aislado. La práctica totalidad de los estudiantes a los que he realizado las tutorías de proyectos finales de carrera vienen el primer día de consultas completamente desorientados. Se tienen que enfrentar por primera vez a un ejercicio donde no hay una formulación que aprender, unas normas que consultar o unos datos iniciales de condición de contorno que procesar. Tienen que pensar cómo resolver un determinado problema planteando la concepción de una infraestructura: una carretera, una reforma viaria urbana, un proyecto de urbanización...y eso no lo han hecho nunca en todos los años de su paso por la escuela de caminos.

Mi actividad como profesor asociado en la Escuela de Caminos de Barcelona se inscribe en la asignatura de Urbanismo, donde explico las funciones del espacio viario de la ciudad, y las redes de servicios urbanos, y como tutor de un gran número de proyectos finales de carrera. Intento exponer en clase los conceptos

de forma muy visual, presentando ejemplos reales de experiencias en proyectos urbanos y tratando de buscar una participación de los estudiantes; pero es en los proyectos finales de carrera donde esa participación es mucho más efectiva.

Así, en las conversaciones iniciales al desarrollo del proyecto final de carrera, los estudiantes comentan sus impresiones sobre el hecho de proyectar, y cuentan que, si bien han cursado multitud de asignaturas con miles de conceptos, fórmulas y teoremas, nunca nadie les ha enseñado cómo deben enfocar su razonamiento para empezar a pensar en un proyecto. Saben mucho más de lo que creen, pero tienen el conocimiento desacoplado, disperso, y a medida que empezamos a plantear la redacción del proyecto, van tomando confianza en ellos mismos y consiguen convertir lo que para ellos suponía el último eslabón de la carrera de obstáculos en la que se ha convertido la carrera en una experiencia gratificante, útil, y de la que se sienten muy orgullosos por el trabajo que han desarrollado.

La conclusión de mi experiencia con los estudiantes es muy clara: durante la carrera nadie en la Escuela se ha dedicado a compilar los conocimientos sectoriales de cada una de las materias para introducir a los estudiantes en la lógica del pensamiento proyectual. Salvo honrosas excepciones, el pensamiento crítico, la visión de conjunto, el plantear alternativas, el decidir o priorizar actuaciones está completamente ausente de ella.

Muchos síntomas avalan esa conclusión. La práctica totalidad de los estudiantes comienzan el proyecto final de carrera preguntando cuál es la cantidad de anejos de la memoria que debe contener su documento. No hablan del alcance territorial de su propuesta, ni del procedimiento lógico para diseñar un trazado de carreteras, ni de la reflexión sobre la conveniencia de realizar reformas urbanas en tejidos obsoletos...su máxima preocupación es completar el proyecto casi en forma de procedimiento administrativo. En ese sentido, la evaluación de los proyectos por parte de los tribunales académicos también sigue en muchos casos dicha filosofía, y en lugar de valorar el proceso de decisión que ha realizado el estudiante a la hora de plasmar su solución, fiscalizan detalles irrelevantes del documento.

Además, los estudiantes llegan al proyecto final de carrera en una situación mental de completo hartazgo. La inmensa mayoría tiene ya como objetivo el aprobar y el salir cuanto antes de la Escuela, una escuela que en muchas ocasiones ha sido causa de muchas frustraciones y de sobreesfuerzos innecesarios por la dureza de los estudios.

La combinación de todos esos elementos no es precisamente halagüeña, pero precisamente por eso el resultado del trabajo de tutoría a los estudiantes resulta

mucho más gratificante cuando se consigue que el estudiante esté orgulloso de su trabajo.

Partiendo de mi experiencia en todos estos años como docente y como ingeniero, estas líneas pretenden reflexionar sobre la situación actual de la formación de los ingenieros desde el punto de vista del pensamiento proyectual, así como su relación con la profesión en la actualidad, especialmente en los momentos actuales, donde se han producido muchos cambios en el escenario de la vida profesional de los Ingenieros de Caminos.

DE LAS ESCUELAS TÉCNICAS A LAS UNIVERSIDADES CIENTÍFICAS

Durante las primeras décadas de la industrialización, las enseñanzas técnicas estaban íntimamente relacionadas con las actividades industriales, y la formación estaba a cargo de ingenieros con una amplia trayectoria profesional, que se encargaban de transmitir los conocimientos a las nuevas generaciones en escuelas especializadas ligadas a los entornos industriales de la época. La formación tenía una gran componente práctica, y las necesidades de la industria, tanto de nuevos profesionales como de desarrollos tecnológicos se veían satisfechas desde el seno de la propia industria.

El método científico desarrollado a lo largo de los grandes avances de la ciencia propiciados por la industrialización, especializó cada vez más las actividades científicas, y éstas se centraron en las distintas universidades. El amplio desarrollo de dichos centros de investigación hizo que progresivamente las universidades se hicieran cargo de las escuelas de ingeniería, y éstas empezaron a ser las responsables de la formación de los nuevos ingenieros.

De esta forma, progresivamente se fue segregando la formación universitaria de la actividad profesional. Los ingenieros con amplia trayectoria que tradicionalmente eran los encargados de la transmisión del conocimiento, fueron progresivamente sustituidos por profesores universitarios sin prácticamente experiencia profesional fuera de la academia.

Así, la metodología de la enseñanza de la ingeniería cambió la transmisión del conocimiento desde el ámbito de la práctica y de la experiencia de los ingenieros más brillantes de cada generación, a la rigidez de unos planes de estudios diseñados desde la lógica del funcionamiento de las universidades como centros de desarrollo científico. En ese sentido, la segregación entre lo científico y lo práctico se fue progresivamente acentuando, al convertirse las escuelas de ingeniería en

unos centros de desarrollo de la ciencia ingenieril, donde la actividad principal es la investigación científica, y donde la docencia quedó relegada prácticamente a categoría de subproducto.

En esa situación, los profesionales de la enseñanza responden cada vez más a la imagen de profesores con poca o nula experiencia fuera de la academia, que enfocan su carrera investigadora a continuación de su graduación, y que ven en el mundo de la universidad el único medio donde desarrollar su inquietud científica. El mismo funcionamiento de las universidades ha ido apartando cada vez más a los profesionales de la ingeniería de los lugares de docencia. Muchas veces, la financiación de los centros universitarios depende en gran parte de la actividad investigadora, de la participación en proyectos con fondos públicos o privados, y los ingenieros dedicados a la actividad profesional y que están vinculados a la universidad, no tienen tanta disponibilidad de tiempo para poder participar. Así, van tomando mayor protagonismo los investigadores frente a los profesionales en todos los departamentos de la universidad, relegando a quien no está a tiempo completo en esas tareas a mero colaborador de la docencia.

Las consecuencias de esa transformación de las escuelas de ingeniería en centros pertenecientes a universidades son profundas. Los planes de estudio han venido siendo diseñados por los propios académicos que gestionan las universidades, y contienen cada vez en mayor proporción los conocimientos destinados a desarrollar carreras académicas, alejándose de los que supuestamente requiere la sociedad para la actividad económica relacionada con la ingeniería.

Así, desde hace décadas, los planes de estudio de las escuelas de caminos distinguen un ciclo inicial de materias básicas de ciencia pura, básicamente centradas en las matemáticas y la física, y un ciclo final donde se pretende enseñar la tecnología aplicada a los procesos ingenieriles, y supuestamente transmitir los conocimientos del mundo real. Esta segregación viene acompañada con una pátina de mayor presencia de las materias básicas, que al estar en los primeros cursos de la carrera, adquieren el papel de materias duras y difíciles, ejerciendo a la práctica de un filtro para asegurar que los que pasan sean los mejores estudiantes.

En ese sentido se produce aquí otra de las perversiones del sistema de enseñanza de la ingeniería: la gran pérdida de tiempo, esfuerzo y recursos en las materias troncales de ciencia básica. Una gran parte de los ingenieros consideran una vez acabados los estudios, que la presencia de dichas materias en los primeros cursos es francamente desproporcionada, y que el esfuerzo necesario para pasar ese ciclo supera lo razonable, sobre todo teniendo en cuenta el tiempo destinado a ellas en comparación con lo que se destina a las materias propias de la actividad profesional

del ingeniero. En ningún caso se pone en tela de juicio la necesidad del aprendizaje con rigor de dichas materias, que en la mayor parte de los casos se realiza de forma adecuada, sino que se pone de manifiesto que una vez superado ese ciclo inicial, lo que viene a continuación no cumple las expectativas del estudiante en relación a la preparación necesaria para los retos de la profesión.

El excesivo protagonismo que presentan dichas materias básicas se retroalimenta a la hora del diseño de las modificaciones de los planes de estudio, conservando y ampliando sus franjas de docencia como un reflejo del amplio poder de decisión que han ido acumulando sus responsables en los centros docentes. Las materias propias de la actividad del ingeniero, las que deben formar a los estudiantes en la resolución de los problemas reales, en la gestión y planeamiento de las redes de infraestructuras, en el criterio para el diseño de las mismas, quedan cada vez más relegadas a posiciones que rozan lo residual.

En ese sentido, si tomamos como ejemplo la evolución de los planes de estudio de la escuela de Barcelona, el plan de estudios de 1995 establece una duración de los estudios de 5 años, con un total de 395 créditos, donde aproximadamente el 25% están destinados a materias básicas del ámbito de la matemática, la física y el cálculo numérico. En ese mismo plan, poco más del 20% se dedican a asignaturas relacionadas directamente con la concepción, diseño y gestión de infraestructuras.

La adaptación a las nuevas modalidades de enseñanza superior, divididas en grado y máster, han llevado a la reforma de los planes de estudio, y desde hace unos cuantos cursos ya se imparten en la escuela de Barcelona el Grado en Ingeniería Civil y el Máster de Ingeniería de Caminos, Canales, y Puertos, siendo la suma de los dos el equivalente a la titulación tradicional de Ingeniero de Caminos. En la confección de los planes de estudio de las nuevas configuraciones académicas se ha puesto de manifiesto una vez más la preponderancia de las materias de ciencia básica. Así, los estudios de Grado en Ingeniería Civil se estructuran en un total de 240 créditos en 4 años, manteniendo el 25% de los mismos para las asignaturas de ciencia básica, y reduciendo la presencia de materias de gestión y proyectación de infraestructuras a poco más del 12%.

Uno podría pensar que se plantean los estudios de grado con una visión más genérica y de contenido básico de los conceptos de la ingeniería civil, dejando para los estudios de máster los ámbitos de la enseñanza más afín a la gestión y planeamiento de las infraestructuras. Esta idea, aunque desde mi punto de vista sería completamente equivocada, puesto que para lograr una formación completa sería más que conveniente realizar el máster, relegando los estudios de Grado a una categoría inferior, tendría su supuesta lógica si los porcentajes de dedicación

a las materias más ingenieriles se incrementara de forma notable. La realidad dista bastante de dicha situación. Si se consulta la información proporcionada por la propia escuela, donde se describen los estudios de master, se puede leer lo siguiente:

El máster universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos proporciona una formación multidisciplinar y tecnológica avanzada, que permite introducirse en la investigación, el diseño y el análisis de infraestructuras y proyectos de ingeniería civil, al tiempo que habilita para ejercer la profesión de ingeniero/a de caminos, canales y puertos.

El plan de estudios refuerza la formación fisicomatemática y científico adquirida al grado, mediante la utilización de las técnicas más avanzadas y experimentales de modelización en el ámbito de la ingeniería. Asimismo, el máster prevé la realización de parte de los estudios en el marco de diversos programas de movilidad a través de los convenios suscritos con escuelas de ingeniería de gran prestigio en todo el mundo.

Proporciona a los futuros profesionales una sólida base técnica para diseñar y dirigir el desarrollo de infraestructuras, planificar y gestionar servicios y recursos medioambientales, para incidir en la ordenación del territorio.

La declaración de intenciones que se plasma en ese texto responde a lo que debería ser un planteamiento adecuado de la estructura de la carrera, pero la coletilla de “refuerza la formación fisicomatemática y científico adquirida en el grado” nos hace sospechar que no se ha aprovechado la modificación de los planes de estudio para introducir en ellos una mayor presencia de materias de gestión, de proyectación, de planificación...que supongan una verdadera adaptación de los estudios a lo que se debería esperar de los Ingenieros en el mundo profesional.

Observando con detalle la estructura docente del Máster, vemos como en un primer curso vuelven a aparecer un conjunto de materias de ciencia básica, respondiendo a la advertencia mencionada en la descripción de los estudios que hace la escuela cuando se proclama que el plan de estudios “refuerza la formación físico-matemática”. Dicha presencia de materias de ciencia básica responde también al hecho que se puede acceder al Máster de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos desde otras titulaciones de Grado además de la de ingeniería Civil. Se podría producir entonces la situación que hubiera estudiantes con el título de Ingeniero de Caminos, que no habrían pasado por el cedazo de dichas materias en el Grado. Así, colocándolas de nuevo en el inicio del Máster, se elimina dicha posibilidad. Esta intencionalidad adquiere mayor verosimilitud cuando se lee en la normativa académica que los estudiantes que accedan al Máster desde los estudios de Grado en Ingeniería Civil, dichas materias serán convalidadas por prácticas en empresas con convenios

establecidos con la Universidad. Sin lugar a dudas una medida muchísimo más conveniente para dichos estudiantes, que tendrán un mejor aprendizaje y una aproximación al mundo laboral mucho más interesante que lo que presumiblemente la intensificación en la formación matemática les pueda aportar.

Otro detalle que pone de manifiesto la enorme diferencia que existe entre los planteamientos docentes de las escuelas y la realidad de la actividad profesional aparece precisamente en la gestión y valoración de las prácticas en empresas. Cada estudiante tiene un tutor asignado en la empresa donde va a realizar las prácticas, y dicho tutor debe contestar un cuestionario donde se pretende valorar la actividad realizada por el estudiante en ella. El hecho que en esos cuestionarios se pregunte, entre otras cosas, si el estudiante ha demostrado el conocimiento de las leyes de la termodinámica, es otro síntoma evidente de la abismal distancia que separa el mundo real del mundo académico.

Independientemente de las diversas opciones que tiene el estudiante para realizar los estudios de Master, combinando las prácticas en empresas y la movilidad internacional con el resto de las materias, la presencia de las materias de ciencia básica equivalen en carga docente a las dedicadas al proyecto final de carrera. Las materias de proyectación y gestión de infraestructuras quedan también relegadas a la elección de dicha especialidad por parte del estudiante. No parece que con este reparto de carga docente, se logren los objetivos que indica la presentación de los estudios por parte de la escuela, y que la frase “Proporciona a los futuros profesionales una sólida base técnica para diseñar y dirigir el desarrollo de infraestructuras, planificar y gestionar servicios y recursos medioambientales, para incidir en la ordenación del territorio” no pase de mera retórica.

Además, la movilidad internacional se realiza en los cursos correspondientes a dichas materias específicas, con lo que cabe la posibilidad de que un estudiante acabe los estudios sin haber proyectado absolutamente nada. Una situación que, como poco, es realmente preocupante.

La guinda que corona la situación en la que se encuentra la actividad de proyectar en la enseñanza actual en la Escuela de Caminos es la forma en la que se concibe y gestiona la redacción y valoración del propio Proyecto Final de Carrera de los estudiantes. Para empezar, se habla de Proyecto Final como si hubiera habido antes otros proyectos precedentes, y la realidad es que se trata del Primer y Único Proyecto realizado en todo el recorrido académico. Además, el estudiante debe realizar el proyecto con una metodología muy cercana a la que se usaría en la vida profesional, como el realizar los planos en CAD, cuando nunca nadie en la Escuela se ha preocupado por mostrar dichas metodologías con suficiente intensidad.

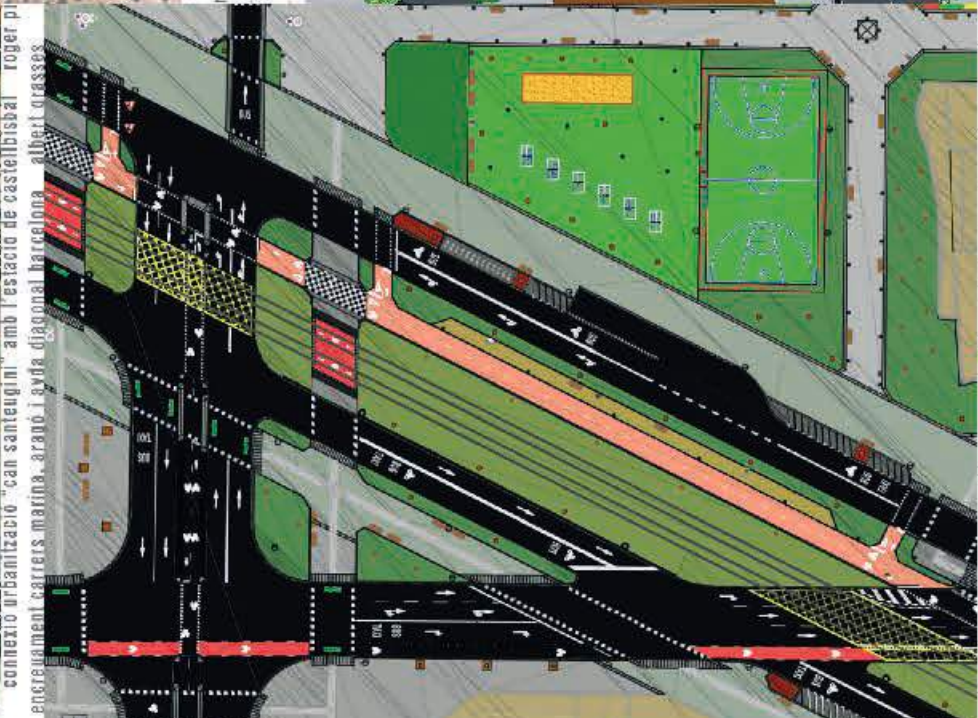
En muchos casos, los tutores que mostramos interés en el aprendizaje que realizan los estudiantes, somos los encargados de realizar la formación en el universo del proyecto, y conseguimos en la práctica totalidad de los casos, que el estudiante acabe sus estudios con una experiencia positiva realizando su proyecto. Todos ellos manifiestan que han aprendido mucho proyectando, a pesar de la heroicidad que supone la redacción en solitario de un proyecto constructivo. ¿Tan difícil es comprender para los responsables académicos que el ejercicio de proyectar es absolutamente indispensable en la actividad profesional? No parece que nadie en las escuelas esté por la labor de intentar dar respuesta a esa pregunta. La dificultad que tienen los estudiantes en encontrar un profesor que esté interesado en ser su tutor de proyecto es un síntoma muy claro del poco interés que existe. Publicar artículos y asistir a congresos parece que tiene mucha mayor prioridad que el enseñar a un futuro profesional de la Ingeniería.

Esta situación de la organización de los estudios de ingeniería es común a gran parte de las escuelas, y responde al proceso de “profesionalización” del profesorado como docente universitario a dedicación plena y a la perversión del sistema de funcionamiento ya mencionado. Las universidades y escuelas actuales han alcanzado un alto nivel en el mundo académico, y nuestros centros se encuentran entre los más reconocidos de nuestro entorno. Esta reflexión no pretende realizar una crítica global a su funcionamiento y filosofía, pero sí que busca poner de manifiesto esta progresiva distancia entre lo académico y lo real, entre lo estático y conservador de la jerarquía universitaria y lo dinámico y siempre cambiante mundo de la profesión de ingeniero.

Para poder revertir esta situación, y mantener el nivel académico logrado en nuestras escuelas, se debería incorporar a la actividad docente un mayor número de ingenieros con experiencia práctica en muchos más ámbitos de la enseñanza, en especial en las asignaturas técnicas, de gestión y planificación, y sobre todo en la tutoría de proyectos. De esta forma, la pátina de realidad se añadiría al rigor académico de la ciencia pura y se conseguiría una enseñanza mucho más polivalente y adecuada a las necesidades del mundo profesional.

LA DERIVA ENDOGÁMICA DE LA PROFESIÓN

La titulación de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos tradicionalmente es vista como una carrera que proporciona buenos profesionales, caracterizados por una sólida formación técnica, combinada con una gran capacidad de trabajo, y una mentalidad pragmática a la hora de tomar decisiones. A la vez, el colectivo de ingenieros está muchas veces asociado a un mundo donde la razón científica y



Participar, como tutor, en la última etapa de formación de los nuevos ingenieros, descubriéndoles que proyectando consiguen aplicar todo lo que en la carrera han aprendido, es un absoluto privilegio. El esfuerzo invertido por todos ellos ha sido directamente proporcional a la satisfacción por los resultados obtenidos. Estas imágenes muestran algunos de los trabajos realizados por los más de 200 estudiantes de la Escuela de Caminos de Barcelona a los que he tenido la oportunidad de guiar en la “creación” de sus Proyectos Finales de Carrera.



el cálculo riguroso prevalece sobre todas las cosas. El lenguaje y las lógicas de decisión utilizadas muchas veces distan de forma notable con los debates y problemáticas que la sociedad requiere.

La profesión de ingeniero puede adoptar entonces posturas diferenciadas frente al conjunto de problemas que se le plantea en la vida profesional. La opción del elevado rigor científico muchas veces no es aplicable a gran parte de los problemas que la sociedad genera puesto que la gran cantidad de variables que participan hacen imposible el tratamiento de las mismas con la exactitud que acostumbran a tener los problemas académicos. Así, la consecuencia de este hecho es la tendencia del colectivo de ingenieros a abordar preferentemente los problemas técnicos de detalle y dejar para otras profesiones las decisiones de más amplio abanico de requerimientos y soluciones.

Esta tendencia, enquistada desde hace décadas en nuestra sociedad, aparta a los Ingenieros de Caminos de los puestos de relevancia en la sociedad, y los condena a posiciones subordinadas donde las grandes decisiones, las más relevantes, las toman profesionales con un perfil mucho más acorde con las características de dichos procesos. El clásico debate entre ingenieros y arquitectos, o entre técnicos y economistas o juristas, deja de ser un tópico recurso de conversaciones triviales para convertirse en un problema endémico de la profesión de Ingeniero de Caminos: La sociedad va dejando cada vez más de contemplar las aportaciones de los Ingenieros, no entiende el valor de las mismas, o simplemente prefiere los discursos que otros colectivos realizan. Y lo que es peor, el discurso de los ingenieros, cuando se pone de manifiesto, a menudo no resulta satisfactorio.

El ingeniero se encuentra cómodo en la sombra, en segunda fila, atendiendo de forma precisa y con el máximo rigor a las cuestiones que se le plantean, y le molesta especialmente el exceso de incertidumbre que hace peligrar la exactitud de su respuesta. Esta característica parece ser común a la mayor parte de las distintas especialidades de la ingeniería. En éstos días se está estrenando en el cine la última entrega de *Star Trek*. En el escenario de los viajes interestelares, la tecnología juega un papel fundamental, pero el ingeniero jefe de la nave *Enterprise* nunca aparece en el puente de mando, donde se toman las decisiones que fijan el rumbo de los acontecimientos. El capitán y el primer oficial tienen confianza plena y absoluta en las habilidades del ingeniero, pero él sólo participa en la aportación de soluciones parciales a las laberínticas situaciones de la trama. Está claro que el plan de estudios de la Flota Estelar también requiere de algunas modificaciones.

La posición de los Ingenieros de Caminos en el mundo laboral está cambiando como consecuencia de esta tendencia a la dedicación profesional excesivamente

sectorial. A lo largo de las últimas décadas, los estudios de Ingeniería de Caminos han sido asumidos en muchos casos como un reto personal, una carrera de obstáculos que, una vez superada, tenía como recompensa la incorporación a un cuerpo reducido de profesionales de prestigio, muy bien tratado por los mecanismos de funcionamiento de la Administración, y con la garantía de una carrera profesional notablemente bien pagada y sin más dificultades que la elección de sector de actividad donde desarrollarla.

Las coyunturas económicas de las últimas décadas han intensificado todavía más esta situación endogámica de la carrera. Hace ya muchos años que la consecución del título no implica el ingreso fácil al prestigioso cuerpo de Ingenieros del Estado, hace todavía menos años que la ingente cantidad de dinero destinada a la construcción de infraestructuras prácticamente ha desaparecido de nuestros presupuestos públicos. La situación laboral es completamente distinta a la que había hace tan sólo 10 o 15 años. Y ese cambio en las condiciones de contorno debería acelerar el proceso de transformación y de renovación de las metodologías de estudio para adaptar las escuelas a las realidades actuales, tanto del mercado laboral como de la sociedad en general.

Tantos años de ausencia de dificultades en la profesión no sólo no han hecho necesarias reformas de calado de los estudios, sino que además han afianzado el modelo, enquistando su falta de adaptación a los nuevos tiempos. La consecuencia de ello es el hecho que la formación de los ingenieros está absolutamente ligada a la profesión, independientemente de si dicha formación es lo suficientemente válida para afrontar las necesidades cambiantes de la sociedad. La ingente actividad profesional de las épocas recientes demandaba una gran cantidad de técnicos, y la universidad los ofrecía. La formación de los mismos estaba encaminada a generar profesionales con una gran capacidad de trabajo y aprendizaje, y se daba por hecho implícitamente que la carrera se completaba en el ejercicio de la actividad profesional, dado que el universo laboral de los ingenieros de caminos ha sido tradicionalmente un espacio muy reducido, tanto desde el punto de vista cuantitativo como de tipologías laborales. No importa demasiado lo aprendido en la universidad, con el título en la mano se abren muchas puertas, y en ellas rápidamente se accede a un mundo laboral donde las decisiones sobre la planificación y gestión de las infraestructuras han sido tomadas por otros, y donde únicamente se ejecutan dichas decisiones en forma de proyectos redactados en serie, y de obras donde la única unidad de medida es el euro.

En esa etapa, aunque las dificultades laborales han sido prácticamente inexistentes, además de la falta de inquietud en la modificación de los planes de estudios para su

necesaria modernización, se podía detectar también otras disfunciones que podríamos considerar como endémicas en las escuelas de Ingenieros, como la excesiva dificultad en superar las materias científicas, que prolongaba innecesariamente los estudios, y producía una tardía incorporación de los recién titulados al mercado de trabajo. Este hecho, además de suponer un elevado coste social, incrementa en el estudiante la percepción de la pertenencia al ciclo endogámico de la profesión; “tantos años me ha costado sacar la carrera, no voy a dedicarme a otra cosa ahora que he acabado”. La prosperidad que durante años ha gozado la profesión ha sido caldo de cultivo para mantener y enquistar los obsoletos planes de estudio.

Es verdad que desde la Universidad no es posible modificar las coyunturas económicas, ni las condiciones de trabajo de los titulados; pero debe tomar conocimiento real que la velocidad de cambios en el mundo es muy elevada, y que las tendencias formativas de los profesionales mejor valorados distan mucho de los anquilosados planes de estudios vigentes. Las nuevas generaciones, mucho mejor informadas que las que actualmente dirigen las esferas universitarias, no verán en los estudios de Ingeniería de Caminos una apuesta atractiva donde dirigir su vida académica y profesional, y donde hasta hace poco se gozaba de una demanda notable de inscripciones, en poco tiempo se puede poner en peligro incluso la existencia de algunas de las escuelas actuales.

UN NUEVO ENFOQUE A LA FORMACIÓN DE LA INGENIERÍA

Hace algunos años se publicó en Estados Unidos un estudio que analizaba la situación futura de los ingenieros civiles. Como resultado de dicho análisis, se establecieron un total de quince capacidades o conocimientos que los ingenieros civiles deberían tener. De esas quince dimensiones, únicamente seis son capacidades técnicas. Las otras nueve son: la capacidad de trabajar en equipos multidisciplinares, el conocimiento de responsabilidades éticas y profesionales, la capacidad de comunicarse de forma efectiva, la comprensión del papel de la ingeniería en el contexto social, el involucrarse en una formación permanente a lo largo de toda la vida, el conocimiento de asuntos de actualidad o del contexto social, el conocimiento de la importancia de la gestión de los proyectos de construcción y de los activos financieros, e incluso el conocimiento de políticas de negocio y regímenes administrativos. En definitiva, todos ellos aspectos que no son puramente técnicos. A dichas capacidades se le debe añadir el conocimiento del papel del líder y de los principios del liderazgo.

Si uno analiza las características de la formación en las escuelas de ingeniería, una gran mayoría de dichas capacidades son inexistentes en los planes de estudio. Si

bien es verdad que muchos de los conceptos de la lista no pueden establecerse de forma explícita en forma de materias evaluables, la realidad es que con los planes de estudio en la mano, por muy bien desarrollados que se encuentren, difícilmente se llegará a formar a los nuevos ingenieros en dichas competencias.

Los planteamientos actuales de los estudios han conseguido forjar unas cuantas generaciones de ingenieros de caminos, con sobradas solvencias técnicas y probadas capacidades de trabajo en múltiples ámbitos profesionales. Aún con enfoques sectoriales y completamente sesgados hacia un mundo casi estrictamente académico, la excelencia y el rigor en el tratamiento de la gran mayoría de las materias impartidas es innegable. Así que partiendo de esta premisa, no debería ser difícil implementar nuevos métodos de aprendizaje que permitan incrementar las cualidades profesionales de los nuevos Ingenieros, transformando la visión sectorial actual de la carrera, a una mucho más versátil y flexible. De esta forma, se lograría además revertir el proceso de pérdida de atractivo que los estudios de Ingeniería Civil están padeciendo en los últimos años, un proceso que puede poner en riesgo la capacidad de abastecer al sistema de técnicos cualificados.

Así, los estudiantes que buscan una realización personal y profesional ya durante los estudios, necesitan motivación, participar más en el proceso educativo, experimentar y vivir la profesión desde el inicio de los estudios. En otras profesiones, como Arquitectura o Medicina, se establecen muchas más vinculaciones a la profesión desde el inicio de los estudios. En el caso de Arquitectura, la presencia de la actividad proyectual, básica en la gestión y planeamiento de las infraestructuras, se encuentra en los planes de estudio desde el primer año, y a lo largo de toda la carrera, los estudiantes van incorporando en su aprendizaje los procesos de decisión inherentes al hecho de proyectar.

Igualmente, en el caso de Medicina, la estrecha relación entre los grandes hospitales y los centros docentes es muy elevada, consiguiendo que los estudiantes puedan incorporar a su aprendizaje las experiencias reales vividas en ellos. Si la enseñanza de la Ingeniería de Caminos está tradicionalmente ligada al ejercicio de la profesión, en el caso de Medicina, este grado de correspondencia es todavía mucho mayor, dado el elevado porcentaje de licenciados que ejercerán en el sector sanitario público. Entonces, si en los planes de estudio de los futuros médicos ha sido posible implementar dicha comunicación con la actividad profesional, es lógico pensar que también puede hacerse en nuestras escuelas, introduciendo ya desde los primeros cursos, experiencias en la realización de proyectos, contemplando las visitas a grandes o pequeñas obras de ingeniería, y sobre todo, incrementando la relación entre los estudiantes y los ingenieros del mundo profesional.

Muchas veces cito a mis estudiantes de proyecto en las oficinas de Esteyco para realizar el seguimiento del proyecto. Sólo hay que ver los ojos como platos que ponen cuando cruzan las salas de la oficina, repletas de planos, croquis y pósters de los proyectos que allí realizamos para darse cuenta que sería muy positivo trasladar todo eso al mundo académico. La universidad no está por la labor de ese cambio, y somos los profesores asociados los que de forma vocacional lo intentamos hacer. De la universidad recibimos muchas veces indiferencia, de los estudiantes, gratitud.

NUEVOS ESTUDIANTES PARA NUEVOS ESCENARIOS DE LA INGENIERÍA

El punto de partida de las reformas de los planes de estudio debe ser el constatar las virtudes que los paradigmas actuales han proporcionado a la profesión, y a partir del análisis de ellas y de las necesidades actuales, realizar una apuesta por la renovación completa, por un salto adelante que consiga dar respuesta tanto a los retos que la profesión tiene, así como los que permitan ubicar a los Ingenieros de Caminos de nuevo en los puestos de decisión de los grandes asuntos que la sociedad plantea.

En primer lugar, cabe destacar la sólida formación que se imparte en las ya comentadas materias de ciencia y matemática fundamental. El nivel y el rigor con que se imparten está a la altura de las facultades de Ciencias, e incluso me atrevería a pronosticar que la dureza de los exámenes en las escuelas de Caminos es superior a la de la mayoría de las facultades, precisamente por el carácter de filtro que se les ha dado a dichas asignaturas.

Así, el planteamiento de los estudios de ingeniería en la forma como está establecido en la actualidad hace que gran parte de los estudiantes que se muestran interesados por ellos lo hacen no por una vocación proyectual, o por una especial creatividad para el diseño o la concepción de las redes de infraestructuras, sino precisamente por sus habilidades en el campo de la matemática. Para ellos, el cursar estos estudios supone un reto personal e intelectual, y muy pocos manifiestan que han escogido la carrera de Ingeniero de Caminos por el atractivo de la práctica profesional. La mayoría de ellos desconoce por completo la actividad cotidiana de los ingenieros de caminos, y se incorporan al mercado de trabajo manteniendo dicho desconocimiento.

La consecuencia del mantenimiento de la metodología actual es realmente preocupante. Para los estudiantes que han iniciado la carrera motivados por el reto que les supone la dificultad de las asignaturas científicas, en el momento en el que aparecen las materias aplicadas a la ingeniería, la motivación desaparece, y

acaban los estudios con poca o nula ilusión para iniciar una carrera profesional en el ámbito de la ingeniería. Muchos de ellos alargan su presencia en la universidad con estudios de máster y doctorado, dado que les permite continuar en el reto de la investigación científica, y les aleja de una profesión que nunca han considerado como próxima a sus intereses. De esta manera, la universidad se va retroalimentando con profesionales cada vez más alejados de una vocación real por la ingeniería, y sin ninguna experiencia fuera del ámbito académico.

Para el conjunto de estudiantes que han ingresado en las escuelas de ingeniería con una inquietud por desarrollar una carrera profesional en la gestión, planeamiento, cálculo y proyectación de infraestructuras, se encuentran una formación académica que consideran demasiado árida, repleta de montones de conceptos irrelevantes para su futuro laboral, y que requiere un esfuerzo para superarla que muchas veces roza lo absurdo.

Las generaciones que preceden a la actual han ido realizando ese esfuerzo de superación básicamente por la compensación que se recibía al acabar los estudios en forma de un trabajo razonablemente estable, en cierta medida interesante, y frecuentemente mucho mejor pagado que la media nacional. A partir de la crisis económica de los últimos años, esta supuesta compensación ha dejado de existir, y tanto el prestigio de la profesión como la expectativa de un buen salario han desaparecido.

Las consecuencias del cambio de paradigma en las condiciones de las salidas laborales de los futuros ingenieros ha golpeado de forma muy dura a las promociones de estudiantes que empezaron la carrera en los años de bonanza entre el 2003 y el 2006 y las finalizaron en los años más duros de la crisis, entre 2008 y 2010. En mi experiencia como tutor de proyecto final de carrera con varios de esos estudiantes, gran parte de la labor de tutoría estuvo dedicada a volver a inspirar confianza en las posibilidades que tenían una vez finalizada la carrera, puesto que toda expectativa laboral que se habían forjado en el momento de la elección de sus estudios se había desvanecido. Este hecho es una prueba más que la formación recibida en las escuelas está fuertemente focalizada en unos pocos campos de la ingeniería de caminos, la Construcción, la Administración y la Consultoría, que aunque predominantes en cuanto al porcentaje de titulados trabajando en ellas, no es ni por asomo las únicas posibilidades.

La sensación de frustración que mostraban la mayor parte de los estudiantes que acababan los estudios en esos años no tenía la más mínima lógica si la inscribimos en el contexto global de la población de su franja de edad. En un entorno social caracterizado por una crisis profunda, una sólida preparación en capacidad

de trabajo y base científico-técnica y con la posibilidad de la movilidad internacional, les permitía aprovechar esa situación para ampliar sus conocimientos en otros ámbitos o sectores, para poder así reconducir su carrera profesional al gran abanico que se ofrece a los licenciados en ingeniería. Era evidente que las posibilidades de trabajar en los mismos puestos que sus compañeros de promociones anteriores eran remotas o nulas, pero también gran parte de los ingenieros junior, y un porcentaje considerable de los *senior*, que disfrutaron de los últimos años de bonanza también se vieron afectados por la práctica destrucción del sector.

Ante esa situación, no se percibieron acciones efectivas por parte del tejido asociativo profesional que no fuera el animar a toda la juventud a hacer las maletas y buscar la misma tipología de empleo, que aquí había desaparecido, en países en vías de desarrollo. Una respuesta del siglo XIX, ir a hacer las Américas, a los problemas del siglo XXI. En una ciudad que organiza el congreso de tecnología más importante del mundo resulta que no hay cabida para ingenieros supuestamente muy bien preparados, porque han dejado de construirse urbanizaciones fantasma, líneas de alta velocidad a diestro y siniestro y terminales aeroportuarias en todas las aldeas. Francamente poco alentador.

Las siguientes promociones de estudiantes ya iniciaron los estudios en plena crisis económica, y por tanto ya no tenían la promesa del trabajo asegurado, los buenos salarios y la estabilidad tradicional del sector. La diferencia entre el estado anímico entre estos estudiantes y los de las promociones anteriores mencionadas era abismal. La única diferencia entre ellos eran los planteamientos iniciales a la hora de ingresar en la Escuela de Caminos sobre las posibilidades de las salidas laborales.

Así, con esa nueva tesitura, los propios estudiantes han hecho por su cuenta lo que los planes de estudio no les proporcionan, y han dedicado muchos de ellos su movilidad internacional del programa Erasmus a recibir formación fuera de nuestras fronteras en aquellos ámbitos de gestión y proyectación que en la escuela de Barcelona no se encuentra en cantidad suficiente. La propia existencia de la movilidad internacional, y el carácter obligatorio de la misma (hay que reconocer este hecho como una parte positiva de los actuales planes de estudio) es a la vez un fenómeno que permite, tanto a estudiantes como a profesores realmente implicados en la docencia de calidad, establecer nuevos puntos de vista, aprender de otros procedimientos, y a la vez que valorar las fortalezas propias, tener la suficiente humildad para reconocer lo mucho que se debe progresar para estar a la altura de lo que la sociedad espera de un centro de excelencia.

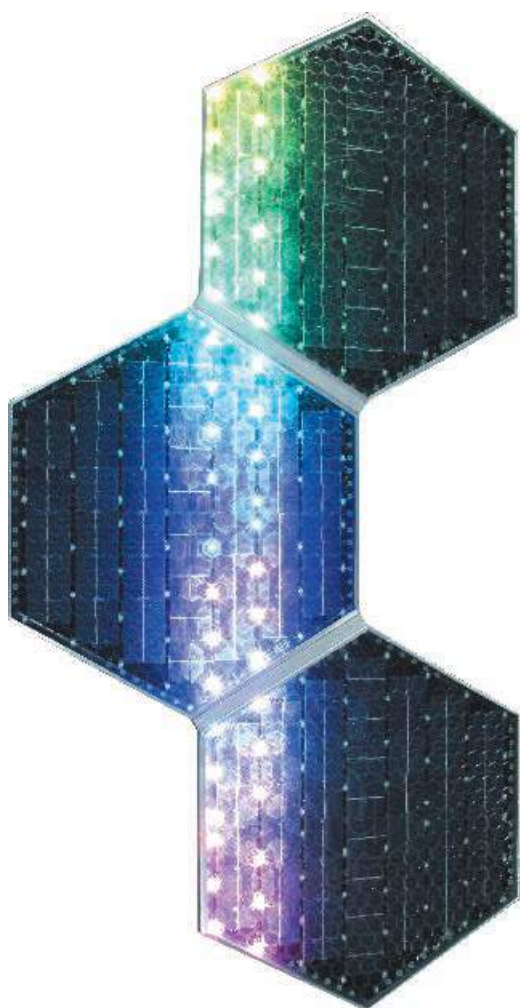
En la era de la comunicación global, de las redes sociales, y del intercambio cultural que permite la exitosa movilidad internacional del programa Erasmus (al que

dicho sea de paso merece estar entre los principales hitos de la historia reciente del sistema universitario), la rigidez de las estructuras burocráticas y académicas actuales deberían tener los días contados. De forma progresiva, los estudiantes recién titulados en este escenario actual de práctica desaparición del sector tradicional de la construcción tal como lo hemos conocido en los últimos treinta años, están empezando por sí solos a buscar y encontrar nuevos caminos profesionales en ámbitos donde hasta hace muy poco era muy raro encontrar un Ingeniero de Caminos.

Así, de una forma prácticamente espontánea, se está empezando a corregir la anomalía histórica de la acumulación sectorial de la inmensa mayoría de titulados en el ámbito de “la zanja y la zapata”, y la diversificación en las salidas laborales de los estudiantes es ya un hecho que empieza a consolidarse, a pesar de que la estructuración de los planes de estudio vigentes no sea todavía la más indicada.

La rapidez con la que se están produciendo estos cambios es asombrosa. En un par de cursos académicos he pasado de realizar una labor de levantar los ánimos de los estudiantes desorientados por las nulas perspectivas laborales en los ámbitos tradicionales, a ver con asombro que la práctica totalidad de los recién licenciados empiezan a dedicarse a las más variopintas actividades en todos los rincones del planeta: desde analistas financieros en la *City* de Londres, a consultoras de movilidad en transporte público en París, pasando por centros de Investigación de la multinacional Disney en China. Las solicitudes de contacto en la plataforma LinkedIn que recibo de antiguos estudiantes, donde cada día se plasma la diversificación profesional, son una alentadora muestra de que esto empieza a cambiar. Y por mucho que se empeñen los burócratas de siempre, el cambio es irreversible, y para el bien de la profesión.

Estamos en un momento en el que las experiencias vividas en el mundo profesional y docente nos permiten reflexionar sobre cómo podemos desprendernos de las inercias del pasado, y reconducir las formas de enseñanza a unos modelos mucho más versátiles y actuales. Introduciendo la cultura del proyecto como espina dorsal que aglutine los conocimientos tan variados de la carrera será sin duda una de las medidas más eficaces para una mejor formación de los futuros Ingenieros de Caminos.



La primera vez que escuché el término de carretera inteligente, *smart highway* o *smart road*, se abrió un universo interesante y desconocido para mí. Hoy en día todos estamos acostumbrados a convivir en la cotidianidad con términos del tipo *smartphone*, *smartwatch*, *smarthouse*, *smart tv*, etc., por lo que podemos hacernos una idea de lo que podría ser una *smart road*. Es cierto que en la mayoría de los casos el término *smart* es un concepto meramente publicitario y de estrategia de ventas, pero en el caso que nos ocupa, según la bibliografía especializada, este término, más allá de un mero eslogan, consiste en un anhelo de crear carreteras comprometidas con la preservación del medio ambiente, que incorporen tecnologías de generación de energías limpias para mejorar el funcionamiento de los coches autónomos, para la recarga de vehículos eléctricos, la iluminación, la vigilancia y monitorización del estado de la vía y la gestión inteligente del tráfico.

Al parecer todo comienza a gestarse por el 2004 cuando el matrimonio de científicos estadounidenses Scott y Julie Brusaw, comprometidos con el medio ambiente, comienzan a idear la primera *concept road* de la que se tiene constancia hoy en día bajo el nombre de Proyecto *Solar Roadways*. Según los medios de prensa escrita donde salió publicada la noticia, el ingeniero Scott Brusaw comenzó a madurar la idea a principios de la década del 60, pero no fue hasta el año 2009 cuando junto a su esposa recibió un contrato de la Administración Federal de Transporte para desarrollar su primer prototipo.

Solar Roadways nació en un garaje de Idaho con el objetivo de sustituir el firme de las carreteras convencionales por paneles fotovoltaicos adaptados para soportar el peso del tránsito vehicular y conferir un agarre similar al asfalto, que además sean capaces de cargar los vehículos eléctricos que circulan por ellos y generar energía a las poblaciones colindantes.

¿En qué consistían estos paneles fotovoltaicos? Pues nada más y nada menos que en una serie de celdas solares, de forma hexagonal de 30 x 30 cm. Cada una de ellas estaba compuesta por tres capas, una primera capa superficial fabricada con un material resistente y rugoso, lo suficientemente translúcido como para dejar pasar

Pavimento fotovoltaico *Solar Roadways*, imagen de los paneles de tercera generación.

Prototipo de vehículo autónomo de Google.

la luz solar, que además incluía sistemas de iluminación LED y elementos calefactores. Una segunda capa que contenía las células solares; y una última encargada de distribuir la energía acumulada a la red eléctrica capaz de encender los LEDs y los elementos calefactores. Los paneles estaban conectados entre sí a través de una especie de malla de manera tal que si uno fallaba el sistema fuese capaz de notificarlo para su remplazo.

Los creadores de *Solar Roadways* reconocen que fabricar paneles solares es más costoso que asfaltar una carretera, pero creen firmemente en sus beneficios económicos y medioambientales. Sostienen que los paneles a lo largo de su vida útil pueden generar suficientes ingresos como para hacerlos rentables. Ingresos que provendrían no solo de la generación de energía, sino incluyendo publicidad con los LEDs en zonas como los aparcamientos.

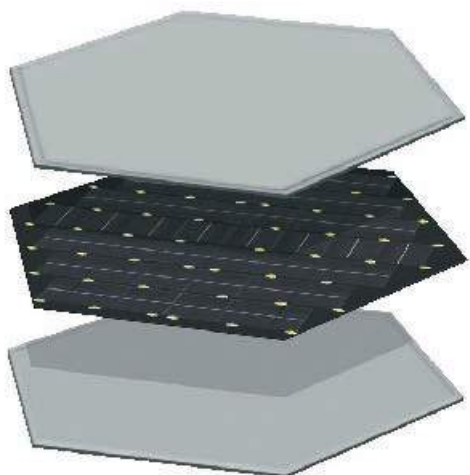
En términos generales parece una idea algo descabellada, pero lo cierto es que han obtenido dos contratos con la Administración Federal de Transporte de los Estados Unidos, y a su término, abrieron una campaña en la plataforma de *crowdfunding* Indiegogo¹, donde han roto el record de donantes de la web y recaudaron algo más de dos millones de dólares, un 220% de la cantidad que esperaban recaudar. Actualmente la web ha pedido a *Solar Roadways* entrar a su programa *IN Demand*, donde permite a los equipos continuar con la recaudación de fondos para sus proyectos una vez se ha cumplido el plazo de la campaña.

Según el diario *The Reader*, en una noticia publicada el pasado 20 de abril, el proyecto *Solar Roadways* habría adquirido su primer proyecto dentro de ámbito urbano al ser aprobado un presupuesto de 48.734 dólares por el Departamento de Comercio de Idaho para implementar un prototipo en la ciudad de Sandpoint, al noroeste del país. Todo esto ocurría antes de conocerse que Missouri probaría la tecnología *Solar Roadways* en una de las áreas de descanso de la histórica *Route 66*, en Conway. Donde se evaluaría la durabilidad y los beneficios de los paneles solares tanto en zonas de calzada como en las aceras.

Nadie sabe lo que nos depara el futuro, ni cuánto avanzará la tecnología para que proyectos de esta envergadura se hagan realidad. Sin duda, si *Solar Roadways* llegase a materializarse, podría tener un impacto brutal en la preservación del medio ambiente y sentaría las bases para la nueva generación de carreteras limpias del futuro.

Solar Roadways no es el único proyecto revolucionario para convertir nuestras carreteras en *concept roads*. Alrededor del mundo ya existen otros prototipos de carreteras inteligentes donde actualmente se estudia y evalúa la eficiencia real de estos

¹ Sitio web internacional de crowdfunding. <https://www.indiegogo.com/projects/solar-roadways#/>



nuevos proyectos. El principal objetivo de este capítulo es poner en conocimiento de manera conjunta y ordenada las nuevas iniciativas de innovación tecnológica en cuanto a carreteras inteligentes se refiere. Para ser honesto, estas páginas deberían actualizarse periódicamente, pues mientras vamos avanzando en su lectura van apareciendo nuevos proyectos revolucionarios que dejan obsoleto lo antes mencionado. Esto se debe a que tanto Gobiernos, Instituciones e iniciativas públicas y privadas están abordando el debate de cómo ha de ser la movilidad del futuro y si están preparadas, o no, nuestras infraestructuras y nuestros profesionales para hacer frente a semejante desafío.

Los ejemplos que citaremos en este capítulo se pueden agrupar en tres bloques fundamentales según su tipología. El primer bloque sería la gestión y señalización inteligentes del tráfico. El segundo estaría relacionado con los proyectos que actúan sobre los pavimentos, ya sean nuevos firmes, pavimentos que captan la luz solar, pavimentos luminiscentes, pavimentos interactivos, etc. Y el tercer bloque y no menos importante, sería lo relacionado con los vehículos que, en definitiva, son los que circularán por las carreteras. En especial el vehículo autónomo, llamado a desempeñar un papel importante en la nueva generación de carreteras del futuro.

La Comisión Europea, a mediados de 2014, constituyó la Plataforma para el Desarrollo de los Sistemas Inteligentes de Transporte Cooperativo en la Unión Europea² (Plataforma C-ITS). Esta iniciativa pública se creó con el objetivo de

² Creada en julio de 2014. Integrada por un total de 120 expertos de diversos ámbitos. Representantes de los Estados miembros de la Unión y de la industria automotriz, empresas de telecomunicaciones, compañías de seguros, entidades locales y asociaciones de usuarios.

Prototipos de los paneles fotovoltaicos SR3. Tercera fase de desarrollo de la tecnología *Solar Roadways* (arriba).

Recreación virtual de la *Solar Roadway Route 66* (derecha).



promover los sistemas inteligentes de transporte, ITS por sus siglas en inglés, dentro de las fronteras de la Unión. La idea es que estos sistemas se comiencen a utilizar lo más pronto posible, pues tienen un gran potencial para mejorar la seguridad en carretera y la eficiencia en el transporte. Todo ello, según estimaciones de la propia plataforma, con un coste de implantación moderado respecto a los beneficios que obtendríamos. Se definieron diversos escenarios de puesta en marcha a corto, medio y largo plazo, con el objetivo de desarrollar un sistema de interconexión que fuese capaz de advertir en tiempo real a los conductores de vehículos sobre situaciones no previstas en su itinerario tales como advertencias sobre la presencia de otros vehículos detenidos en la vía, las condiciones meteorológicas, la situación del tráfico en los siguientes kilómetros de ruta y la aproximación de vehículos de emergencias, entre otras.

“El futuro de la movilidad pasa por la intercomunicación vehículo-vehículo (V2V) y vehículo-infraestructuras (V2I), para así lograr carreteras más seguras, ciudades más sostenibles y sistemas de transporte más eficientes. Para contribuir a estos objetivos, la Comisión Europea (CE) creó hace un par de años la Plataforma para el Desarrollo de los Sistemas Inteligentes de Transporte Cooperativo en la Unión Europea (Plataforma C-ITS).”

Jaime Arruz, mayo 2016

Actualmente los *smartphones* se han convertido en compañeros inseparables de nuestras vidas. A través de aplicaciones nos ofrecen una variedad de servicios que nos facilitan mucho el acceder a diversos sistemas de movilidad alternativos, encontrar aparcamientos, planificar rutas, etc. Estas aplicaciones en la mayoría de los casos son independientes y no se nutren unas de otras, por lo que la información es dispersa e inconexa. La recogida de información integrada y enfocada hacia la mejora de la gestión del tráfico como cambios de ruta sobre la marcha y coordinación semafórica, tendría un impacto brutal en la forma en que utilizamos actualmente nuestras infraestructuras.

Pero la puesta en marcha de esta tecnología solamente será posible si los equipos y sistemas de comunicación son redundantemente seguros. ¿Os imagináis un sistema inteligente de recolección de datos que fuese vulnerable a ataques de *hackers*? Las vulnerabilidades de seguridad es lo que más preocupa a los equipos técnicos de la Plataforma C-ITS pues se han de implantar sistemas que aseguren el cifrado y encriptado de los datos y redes de transmisión frente a cualquier intento de interceptación o sabotaje. En este aspecto nos queda aún por recorrer, pero vamos por buen camino.

Líneas luminiscentes en el pavimento de la N329, Oss, Holanda.



PAVIMENTO LUMINISCENTE

Hace un par de años Holanda dio a conocer un diseño de carreteras que se iluminan a medida que va cayendo la noche. Se trata de un sistema ideado por la firma holandesa Studio Roosegaarde que pretende sustituir las clásicas luminarias a ambos lados de la carretera por marcas viales luminiscentes que absorben la luz solar durante el día y resplandecen en la oscuridad. Este proyecto, bautizado con el nombre de *N329-Road of the Future*, vió la luz en abril de 2014 en un tramo de 600 metros en la carretera holandesa N-329 a su paso por Oss, en el condado de Brabante, al sur del país.

La principal innovación la encontramos en la pintura de las marcas viales, que integra un polvo foto luminiscente cuyo brillo es capaz de durar hasta diez horas, luego de haber sido alimentado por la luz solar durante todo el día.

El proyecto piloto se lanzó internacionalmente mediante un comunicado de prensa seguido del anuncio, de que el Ministro de Infraestructuras holandés, quería instalar este sistema en los 32 kilómetros de carretera del famoso dique Afsluitdijk.





SolaRoad
www.solaroad.nl

Decentrale energie:
Huishoudens, scholen, bedrijven kunnen straks mede-eigenaar worden van een stuk SolaRoad en zo bijdragen aan een duurzame energievoorziening.

+ elektrische fiets:
Met SolaRoad kun je straks je fiets langs de weg opladen. Iedere vierkante meter SolaRoad levert genoeg energie om jaarlijks 100 accu's (van 500 kWh) op te laden.

Openbare verlichting:
SolaRoad produceert duurzame stroom voor straatverlichting.

+ elektrische auto:
SolaRoad produceert de elektriciteit waarop elektrische auto's, bussen etc. kunnen rijden. Op termijn kan SolaRoad ook auto's tijdens het rijden opladen.

de weg die zonlicht omzet in elektriciteit

TNO Innovatie
to life

Provincie Noord-Holland

Intech

Ovako Civil

PAVIMENTO FOTOVOLTAICO

El pavimento fotovoltaico es un tipo de pavimento que genera electricidad mediante la captación de la energía solar convirtiéndola en energía fotovoltaica. Las zonas de aparcamiento, calles, caminos peatonales, y carreteras son lugares susceptibles donde podría utilizarse este tipo de sistema.

SolaRoad es un proyecto piloto resultado de la colaboración entre la industria privada, la Organización Holandesa para la Investigación Científica Aplicada (TNO) y el Gobierno de la provincia de Holanda del Norte. El experimento consiste en instalar un pavimento fotovoltaico a lo largo de 70 metros de carril bici en la ciudad holandesa de Krommenie, con el objetivo principal de evaluar el comportamiento, durabilidad y eficiencia de este tipo de pavimento para determinar si podría ser factible su utilización en carreteras.

Esta iniciativa se hizo realidad en noviembre de 2014 y estará en fase de estudio hasta el año 2017, donde se determinará si la instalación masiva de este sistema es técnica y económicamente viable.

En octubre de 2016, los 70 metros iniciales de carril bici solar fueron aumentados en 20 metros más con nuevos elementos fotovoltaicos que son el fruto de dos años de investigaciones y que son una versión mejorada de los instalados en 2014. Los datos que tenemos hasta ahora son que *SolaRoad* está produciendo anualmente 9.800 kWh, lo que sería equivalente al consumo total de 3 casas holandesas durante todo el año. Una captación de energía superior a la esperada.

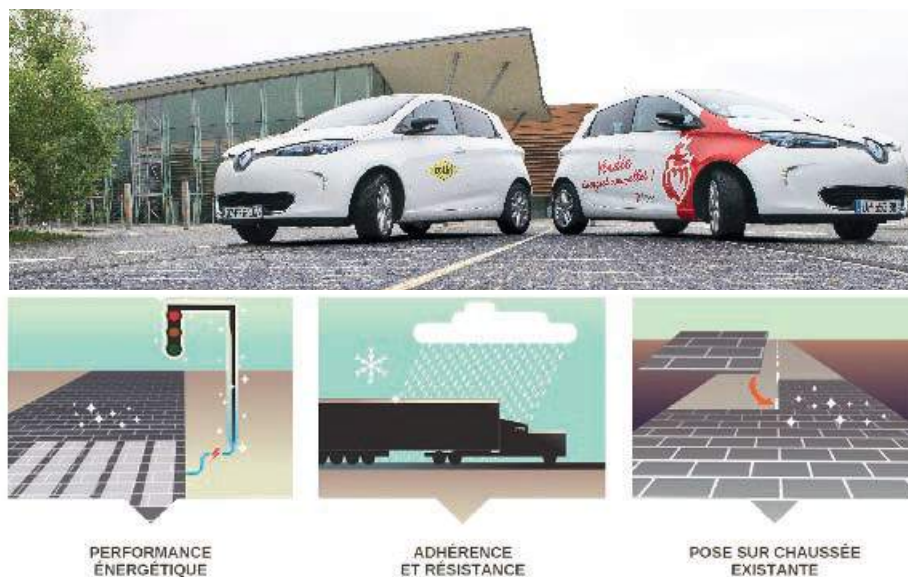
Es cierto que el rendimiento de los paneles instalados en el pavimento sigue siendo inferior al de los paneles convencionales, a lo que se le suma una construcción y mantenimiento más costosos. Ambas cosas eran de esperarse, pero se ha de explorar todos los caminos válidos hacia la *smartroad* del futuro. Yo todavía no me rindo, *SolaRoad* algún día nos puede sorprender.

(pág. izquierda)

Infografía divulgativa del proyecto *SolaRoad*. De *weg die zonlicht omzet in elektriciteit* (la carretera que transforma la luz solar en electricidad).

Instalación del carril bici prototipo de la tecnología *SolaRoad* en la ciudad de Krommenie, Holanda.





Como era de esperar, Holanda no es el único país implicado en la creación de nuevas carreteras que produzcan energía limpia. En esta ocasión nos vamos a Francia donde recientemente el Gobierno anunció que instalará pavimentos fotovoltaicos a lo largo de 1.000 kilómetros de carreteras francesas en los próximos 5 años.

La empresa francesa Colas, ha desarrollado con el Instituto Nacional de Energía Solar (INES) lo que han llamado el proyecto *Wattway*. ¿En qué consiste? Colas ha asegurado tener un material compuesto de silicio cristalino, de un cuarto de pulgada de espesor, que puede ser pegado en la parte superior del pavimento de la calzada para la captación de energía solar, siendo lo suficientemente resistente como para soportar un tráfico intenso y pesado.

Se espera con esta tecnología poder abastecer a 5 millones de personas, lo que equivaldría a casi un 8 por ciento de la población del país, que viven en zonas remotas donde es complicado y costoso hacer llegar electricidad. “Según los desarrolladores “Sólo 20 m² de *Wattway* pueden producir suficiente electricidad para abastecer a un solo hogar, sin incluir calefacción”.

Wattway es una iniciativa muy interesante. La facilidad de instalación de las celdas fotovoltaicas, al poder ser pegadas sobre la carretera, es uno de sus puntos fuertes. Como en los casos anteriores de *Solar Roadways* y *solaRoad*, *Wattway* todavía se encuentra en fase de pruebas. Está por ver en condiciones reales cuál es la verdadera eficiencia y durabilidad de este pavimento.

Pavimento fotovoltaico *Wattway* instalado en el aparcamiento del complejo cultural - deportivo Le Vendéspace, Francia (arriba).

(pág. derecha)

Carriles para carga inalámbrica de vehículos eléctricos. Visión del Studio Roosegaarde.

Prototipo de carriles de recarga en Reino Unido.



LA CARGA POR INDUCCIÓN

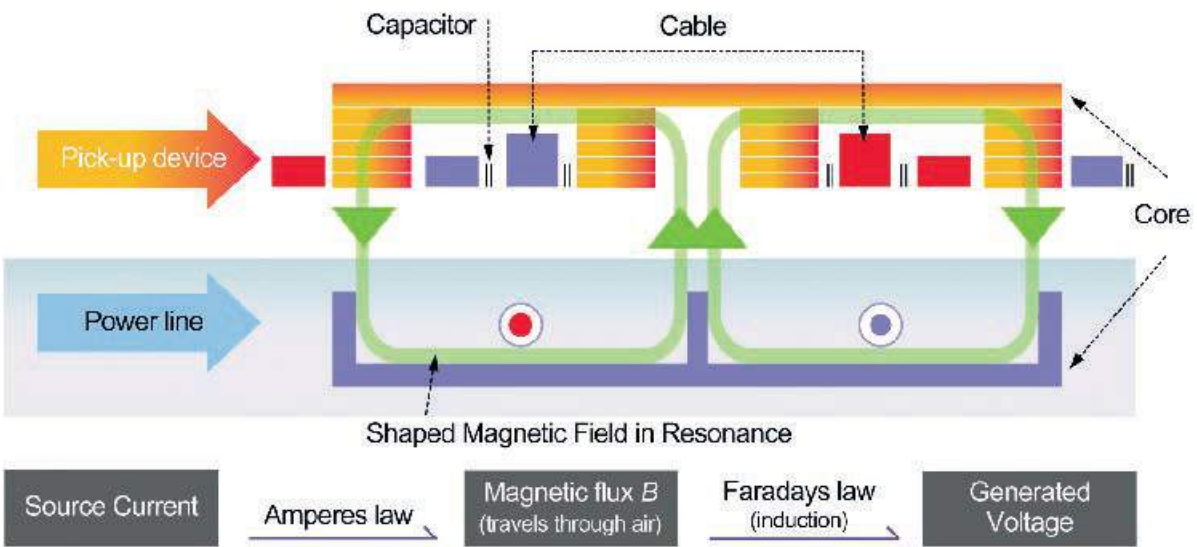
Recientemente se han comenzado a realizar en Reino Unido las primeras pruebas para la recarga por inducción de vehículos eléctricos mientras estos circulan por la propia carretera. Para ello se han creado unos carriles especiales de recarga situados en el extremo de la vía. Este sistema ya se había investigado en la Universidad de Utah en el año 2011, pero nunca se llegó a poner en práctica.

El gobierno británico, en su afán por reducir en un 80% las emisiones de CO₂ antes del año 2050, anunció su intención de implementar estos carriles en las principales autopistas del país, que además serían exclusivas para los vehículos eléctricos. Se pretende invertir unos 700 millones de euros en esta iniciativa durante los próximos cinco años con el objetivo, según Andrew Jones el Ministro de Transportes británico, de mantener al Reino Unido en la primera línea de esta tecnología.

Los carriles de inducción para la recarga de vehículos eléctricos de Reino Unido no son el primer ensayo de este tipo del que tenemos noticias. En Milton Keynes, una de las famosas new towns británicas de los años sesenta, hace unos años se llevaron a cabo una serie de pruebas de un sistema de carga inalámbrica similar, pero en esta ocasión, los vehículos tenían que estar detenidos.

Estos experimentos sobre el terreno son cruciales para la evolución de estas tecnologías inalámbricas y ayudarán a conformar una red de carreteras más sostenibles, así como crear nuevas oportunidades para las empresas que apuestan por







(pág. izquierda)

Infografía explicativa del proyecto OLEV.

Esquema de funcionamiento de la tecnología surcoreana Shaped Magnetic Field in Resonance (SMFIR).

Imagen del autobús eléctrico en servicio entrando en una de las zonas de carga inalámbrica. Estas zonas constituyen un 15 por ciento del total del recorrido (arriba).

el transporte cero emisiones. La puesta en marcha de este sistema de recarga por inducción, representaría un gran paso de avance en el aumento del radio de acción del vehículo eléctrico, ya que las actuales baterías funcionan muy bien para cubrir trayectos cotidianos, pero son insuficientes en los largos viajes por autopistas.

Queda por demostrar la eficiencia real de este tipo de tecnología. Todavía hay mucho por evolucionar y sobre todo se ha de determinar si en un futuro, los carriles de inducción serán necesarios o no, ante la creciente aparición de nuevas baterías con mayor autonomía. Se tendrá que contemplar además la proliferación de los súper cargadores eléctricos capaces de cargar en pocos minutos las baterías de los vehículos.

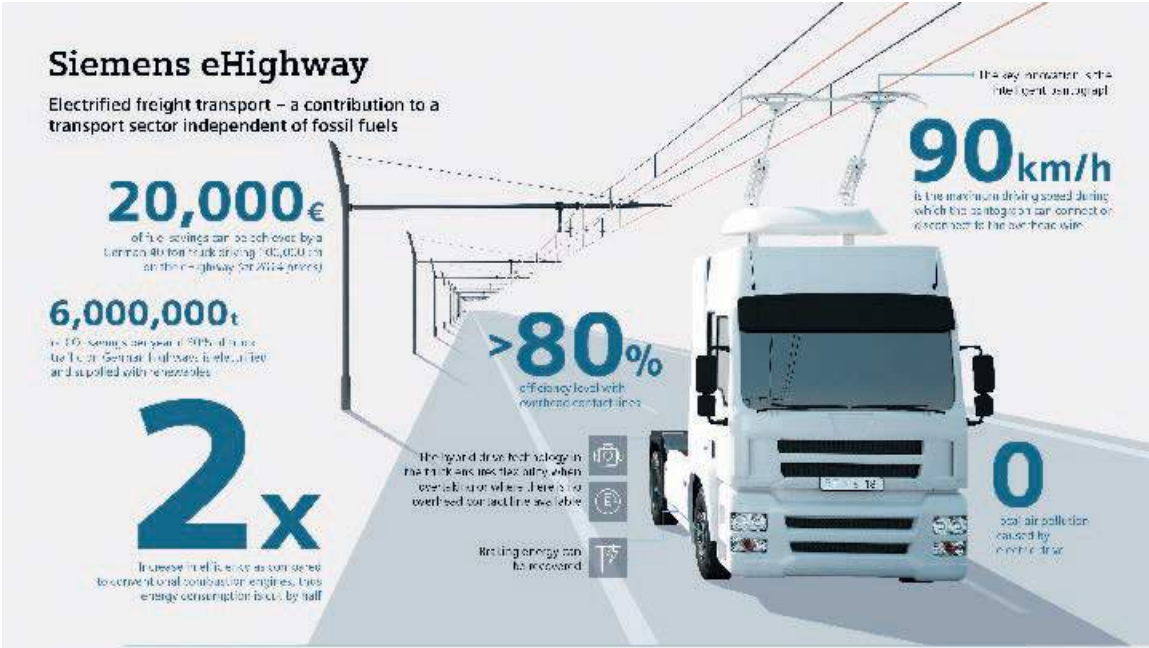
A juzgar por las noticias que están saliendo últimamente, estos súper cargadores serán el sistema que se acabará imponiendo en un futuro próximo. La infraestructura para ello ya la tenemos en las innumerables estaciones de servicio de nuestras carreteras, al fin y al cabo, tenemos que parar para descansar en largas rutas. ¿Pero sería lo mismo cuando el coche autónomo ya sea toda una realidad y no necesitemos descansar con la misma frecuencia que lo hacemos ahora? Todo está por verse, esperemos que el futuro nos sorprenda.

LA TECNOLOGÍA OLEV

Corea del Sur, en agosto de 2013, se convirtió en la pionera en instalar carriles de recarga por inducción después que el Instituto Avanzado de Ciencia y Tecnología de Corea (KAIST) desarrollase esta tecnología basándose en el sistema denominado OLEV *Online Electric Vehicle*.

La nueva tecnología creada fue bautizada como SMFIR *Shaped Magnetic Field in Resonance*, que consistía en colocar una serie de cables 30 cm por debajo de la superficie del pavimento de manera que se crease un campo magnético capaz de cargar los vehículos compatibles a su paso. Estos vehículos estaban equipados con una bobina de recolección, calibrados de manera tal que a una distancia de 17 cm la eficiencia de transmisión de la energía eléctrica se mantenía entre el 75 y el 85 por ciento.

El proyecto consistió en convertir en un carril de carga por inducción, el recorrido del autobús entre la estación de trenes de Gumi y el distrito de In-dong, unos 12 kilómetros de longitud. Para ello se electrificó, bajo el pavimento, en zonas puntuales del recorrido que suponían un 15 por ciento del total. Entre las diferentes zonas de carga inalámbrica el autobus opera mediante sus baterías eléctricas.





CARRETERA ELÉCTRICA EN SUECIA

Suecia ha inaugurado, en la primavera de 2016, la que podríamos denominar como la primera carretera eléctrica del mundo. El proyecto consiste en la instalación de un sistema de catenarias en un tramo de dos kilómetros de la autopista E16, cerca de la ciudad de Gävle, al norte de Estocolmo.

El prototipo, denominado *eHighway*, está destinado a ser un hito importante en el camino hacia un transporte libre de combustibles fósiles. Esta tecnología, diseñada por Siemens y Scania, permite a los camiones híbridos compatibles operar como vehículos eléctricos en el tramo electrificado a través de un pantógrafo incorporado detrás de la cabina. El sistema se acciona automáticamente al entrar al carril, siempre y cuando se circule a velocidades inferiores a 90 km/h. Cuando el camión se sale del carril eléctrico, el pantógrafo se desconecta automáticamente y comienza a funcionar el motor de combustión o el motor eléctrico con batería operada. El mismo principio se aplica cuando el conductor quiere adelantar a otro vehículo.

Las ventajas son bastante claras, los vehículos en este tramo no tendrán que consumir combustible, por lo que las emisiones emitidas serán cero. Esto para Suecia es primordial ya que un tercio de sus emisiones de CO₂ provienen del transporte, y la mitad de estas, del transporte de mercancías. Suecia se ha comprometido a tener un sector de transporte libre de combustibles fósiles para el año 2030 por lo que iniciativas como estas hacen cada vez este hito más posible.

(pág. izquierda)

Infografía generada por Siemens que explica las particularidades del proyecto.

Imagen de la carretera en servicio (arriba).





CUANDO DIGO FUTURO

"Te convido a crearme cuando digo futuro". Así comenzaba, en el año 1969, la letra de la canción *Cuando digo futuro* del cantautor cubano Silvio Rodríguez. El mensaje era claro, sin entrar en valoraciones, Cuba enfrentaba una nueva era tras el triunfo de la Revolución en enero de ese mismo año, la misma ilusión que tenemos ahora ante el desarrollo exponencial de la tecnología. ¿Quién sabe que nos deparará el futuro? Los avances tecnológicos son cada vez mayores, y mientras se desarrollan nuevas tecnologías, los plazos para el descubrimiento de otras nuevas se acortan irremediablemente.

Ideas futuristas, sacadas de películas de ciencia ficción, que parecían irrealizables ya son toda una realidad. Todo ello, mucho antes de llegar a ser implementado, o incluso investigado, fue dibujado por ilustradores, arquitectos, ingenieros y científicos inquietos que trataban de repensar su entorno. Un ejemplo de ello son los estudios Roosegaarde y Lebedev, además del Proyecto *Solar Roadways*, de Holanda, Rusia y Estados Unidos respectivamente quienes proponen una manera diferente de entender nuestras carreteras.

¿Somos capaces de imaginarnos unas carreteras que nos hablen a través de gráficos? Eso es lo que pretende el estudio ruso Art Lebedev Studio,³ quien es el autor de un concepto de diseño para un sistema inteligente de señalización vial a tiempo real, el *Razmetkus*. Pensado para carreteras con superficies inteligentes que actúen como pantallas, proporcionando a los conductores información actualizada sobre el estado del tráfico y alertar la presencia de posibles peligros. El sistema interactivo se pretende que sea capaz de mostrarnos al instante el cambio de las señales de tráfico y marcas viales para adecuarse al estado de la circulación y ofrecernos recorridos alternativos en caso de accidentes y congestiones de tráfico.

CARRETERA SOLAR, PROYECTO SOLAR ROADWAYS

A pesar de que se les considera los precursores de las *concept roads*, el proyecto *Solar Roadways* es uno de los más ambiciosos para la conversión de las carreteras en smartroads captadoras de energía solar del futuro. Tan ambicioso como presumiblemente irrealizable a corto o mediano plazo es la iniciativa que más apoyo ha recibido y más ha logrado evolucionar, aunque todavía está muy lejos de sus objetivos.

(pág. izquierda)

Imágenes virtuales creadas por el Art Lebedev Studio que explican el pavimento interactivo *Razmetkus*.

Sistema de pavimento interactivo *Razmetkus* (arriba).

³ Art Lebedev Studio, conocido por su famoso concepto de unidad flash USB de cartón, es un estudio ruso, fundado en 1995, que ofrece diseño gráfico web y diseño avanzado de interfaz industrial.





Este proyecto tiene tantos seguidores como detractores y ha sido capaz de convertirse en un fenómeno de internet donde encontramos todo tipo de opiniones, por lo general, algunas más objetivas que otras. Lo cierto es que hay muchas cosas por resolver para que sea una opción a tener en cuenta seriamente.

El coste de este sistema es su primer punto débil, los paneles son mucho más caros que el asfalto. El recubrimiento de vidrio del panel podría ser de vidrio reciclado para abaratar costes, pero la eficiencia de los paneles caería significativamente. El propio recubrimiento de vidrio no parece que fuese el material indicado para circular sobre él mientras está lloviendo, se ha de demostrar que los paneles proveen la suficiente tracción a los vehículos para que la conducción sea segura.

¿Están nuestras carreteras realmente orientadas para captar la luz solar? Esta es otra de las cuestiones a solucionar, todo tipo de elementos que proyecten sombra sobre la vía harían poco eficiente la utilización del sistema. El arbolado, la orografía del terreno, incluso los propios coches al circular por ellas serían elementos que proyectan sombras. Estas cuestiones denotan que se ha de repensar un poco el sistema en general, aunque es importante explorar todas las alternativas que nos permitan generar energía limpia.

ROOSEGAARDE STUDIO

La idea es que en los próximos años a la carretera inteligente se le vayan incorporando otros adelantos tecnológicos como las marcas del tiempo que aparecerán sobre el asfalto cuando la temperatura alcance un cierto nivel. Este efecto se logra mediante la llamada "pintura dinámica", que se vuelve visible en respuesta las fluctuaciones de la temperatura, permitiendo que la superficie del camino comunique información adecuada y relevante sobre el tráfico directamente al conductor.

Todas estas iniciativas no sabremos si algún día verán la luz y se convertirán en proyectos innovadores totalmente realizables. Como ya he dicho antes, no sabemos lo que nos tiene preparado el futuro.

¿De verdad tendremos que esperar tanto para ver las carreteras inteligentes del futuro? La respuesta parece ser que no, al menos es lo que podemos vislumbrar a la vista de otros proyectos que se están desarrollando en otras latitudes. Iniciativas que si bien no cambian tanto la manera en que usamos nuestras carreteras, sí que presentan un nivel de desarrollo mucho mayor y son de aplicación a corto plazo.

(doble pág. anterior)

Imágenes interactivas sobre como Roosegaarde Studio se imagina las carreteras del futuro.

Recreación virtual del Proyecto *Solar Roadways* (pág. 267, abajo).



LA PRIMERA SMART ROAD DE EUROPA

La primera *smartroad* de europea ya es toda una realidad. Para encontrarla nos vamos hacia Hamburgo, una de las ciudades más importantes de Alemania, donde su puerto apuesta fuertemente por ser uno de los más avanzados del mundo. Cuatro meses han sido necesarios para construir esta *smartroad* en los muelles de Hamburgo, conectando tres calles colindantes y el puente Kattwykbrücke.

La iniciativa ha sido desarrollada por la Autoridad Portuaria de Hamburgo (HPA) en colaboración con la empresa de tecnología Cisco, con el objetivo de que las autoridades de tráfico de la ciudad puedan disponer de información actualizada de la vía para la coordinación, mantenimiento y gestión del tráfico. El proyecto entró en funcionamiento en mayo de 2015 y cuenta con un diseño de alta conectividad, que sirviéndose del concepto del *Internet de las Cosas* ofrece información en tiempo real y datos útiles a vehículos y conductores.

Los cuatro aspectos fundamentales sobre los que se ha basado el concepto *smartroad* en este caso son, la gestión inteligente del tráfico, los sensores estructurales ubicados en el puente Kattwykbrücke para la planificación precisa de su mantenimiento junto con los sensores ambientales para monitorizar la calidad del aire, la iluminación inteligente con el uso del concepto *Follow me Lighting* en los caminos peatonales para el ahorro energético, y por último, la interconexión de todos estos sistemas a través de una infraestructura de red altamente segura que es capaz, tanto de impedir ataques informáticos como de discriminar las matrículas de los coches y las caras de las personas para no invadir su privacidad.



“Las compañías de automóviles cogen los coches, que saben fabricar muy bien, y les instalan ordenadores para mejorarlos. Y a las compañías que no se dedican a los automóviles, sino a la alta tecnología, me las imagino cogiendo un ordenador y poniéndole ruedas a ver qué pasa. Yo creo que ese es el camino. Así evoluciona el mundo tecnológico”.

Brad Templeton, Catedrático en la Singularity University, California.

EL VEHÍCULO AUTÓNOMO... ¿LA SOLUCIÓN?

Eléctrico, autónomo y conectado. No estoy hablando de la próxima generación de súper ordenadores inteligentes, hablo de los coches del futuro. Hoy en día son muchos los ejemplos de movilidad del futuro que podemos encontrar en webs de tecnología y artículos de revistas, entre otros. Verdaderas ideas innovadoras sacuden la red y nos hace reflexionar sobre la manera en cómo nos movemos hoy en día y las posibles alternativas de futuro, como sistemas de transporte mediante drones, trenes levitantes, cápsulas de transporte suspendidas de railes, autobuses urbanos elevados, etc. Son tantas las ideas como rica es la inventiva humana.

En general podríamos decir que todos aquellos desarrolladores tecnológicos concuerdan que lo más factible a desarrollar en los próximos años es el coche eléctrico. Se espera que esta tecnología de un salto cualitativo notable en la industria de la automoción.

Sería tentativo perdernos hablando de sistemas híbridos, tipos de baterías, tipos de carga, y sobre todo de la autonomía que tanto está de moda por estos días, pero al parecer éste es un debate superado, porque la tendencia del sector es hablar de coche eléctrico, autónomo y conectado; tres conceptos que unidos, es posible nos estén describiendo al coche de los próximos años.

Hay quien dice, con razón, que los coches han evolucionado muy poco desde que Henry Ford por el año 1908 comenzó a producir en serie el Ford T, y con ello dio lugar al nacimiento de una industria automotriz que hasta ese momento era más bien un gremio artesano. Digo con razón porque a pesar del avance tecnológico notable que ha experimentado el sector de la automoción, los coches de hoy en día siguen teniendo pedales, cuatro ruedas, un volante, un par de filas de asientos y retrovisores. Parece que nadie se ha dedicado a revolucionar en serio el transporte automovilístico.

Al parecer, la próxima revolución tampoco vendrá por cambiar los aspectos formales de los automóviles, sino por la manera en que los conduciremos y quienes serán los principales actores encargados de liderar esta revolución. Todos cono-

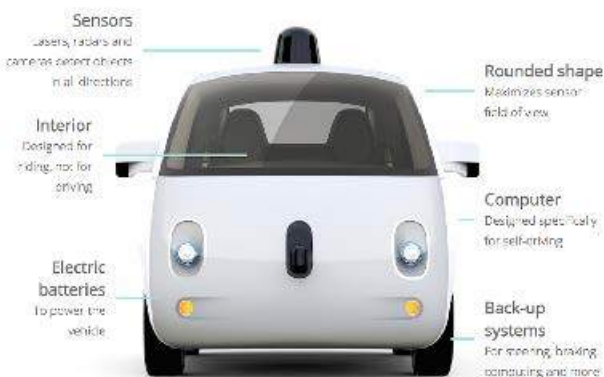
ceamos las grandes multinacionales clásicas del automóvil; ellas por supuesto están involucradas tratando de desarrollar sus prototipos de coches sin conductor, pero ahora, lo novedoso es que comienzan a emerger las grandes empresas tecnológicas desarrolladoras de software que tendrán que decir, y mucho, en los próximos años en cuanto a vehículo sin conductor se refiere. Ya lo decía antes, autónomo y conectado, y es aquí donde entran en juego Google, Apple y Microsoft. Poco a poco las decisiones dejarán de tomarse en Wolfsburg, Seúl, Tokio o París a favor de Silicon Valley. En palabras de Amnon Shashua, cofundador y CTO de Mobileye⁴, una de las principales empresas desarrolladoras de tecnología aplicada al coche autónomo,

“La Informática ya no es algo que puedas elegir si aprenderlo o no. Hay que aprenderlo porque es donde está el futuro. El software está cambiando el mundo. Esto no era así hace 20 o 30 años, pero hoy sí lo es.”

Hace unos años, las noticias sobre los coches auto-conducidos, eran algo impensable; ahora son una constante, una moda que al parecer ha llegado para quedarse. Así parece ser por los grandes avances que se están conociendo casi a diario y que indican que esta tecnología terminará por implantarse en un plazo de tiempo relativamente corto. Prueba de ello también son los modelos presentados por empresas como Mercedes Benz, Tesla Motors y BMW que ya son toda una realidad. De las dos primeras ya se puede adquirir su versión semiautónoma en el mercado español. Digo semiautónoma porque no son coches de autonomía completa; sino que poseen una asistencia a la conducción avanzada que permite al conductor relajarse al volante sin perder la atención, ya que el coche puede pedirle que tome los mandos ante situaciones complejas o de peligro.

Son muchos los datos que empezamos a recibir de diversos medios de prensa e instituciones que han comenzado a abordar el complejo universo de los coches sin conductor. En enero de 2016, la división BI Intelligence de Business Insider, elaboró un informe sobre el estado del desarrollo de los vehículos autónomos alrededor del mundo. Este informe concluyó que en 2019 podrían estar en circulación unos 10 millones de coches autónomos. Una cifra muy alentadora desde mi punto de vista, pero si se cumple sería un gran logro. Aportando más datos al debate en Reino Unido, la multinacional KPMG, una de las cuatro firmas más importante del mundo de servicios profesionales, ha estimado que los coches autónomos reducirían las muertes por accidentes en 2.500 personas entre los años 2014 y 2030. Por otra parte, Morgan Stanley, la gigante entidad financiera estadounidense aseguraba que los vehículos sin conductor añadirán 5.600 millones de dólares al año

⁴ Mobileye es una empresa de tecnología israelí que lleva 15 años investigando softwares y aplicaciones basadas en el procesamiento de información visual aplicada a la conducción autónoma. Marcas como Tesla, BMW y Audi utilizan su tecnología para sus vehículos autónomos.



Vehículo autónomo de Google. Diseñado sin volante ni pedales, siguiendo el razonamiento de que los sensores con los que está equipado el coche son más seguros que un conductor humano.

al PIB mundial. La propia Morgan Stanley ha publicado un artículo con fecha 31 de octubre de 2016, donde expone que las aseguradoras de coches para el 2040 podrían perder el 80% de su negocio hasta que encuentren una manera de adaptarse a este tipo de tecnologías llamadas disruptivas, refiriéndose a la conducción autónoma y a la movilidad compartida.

Pero. ¿Cuál es el verdadero objetivo del coche autónomo? Sin duda, la seguridad. Según datos de la DGT cerca del 90% de los accidentes de tráfico son causados por errores humanos, factor que tendería a cero con un coche plenamente autónomo. Esto es uno de los principales beneficios de esta tecnología. A lo que le podemos sumar una gestión del tráfico más eficiente para evitar atascos y una accesibilidad mayor para personas con discapacidad, o que no puedan o no sepan conducir.

Pero para llegar a un automóvil plenamente autónomo, entendiéndose por esto, un coche capaz de transportarnos desde un punto A hasta un punto B, solventando todo tipo de escenarios en carretera sin la necesidad de interacción del conductor, es necesario ir pasando por diversas etapas para ir adaptando nuestra legislación y nuestras infraestructuras a la vez que se progresa en la mejora de las tecnologías aplicadas al vehículo. Para ello, la Sociedad de Ingenieros Automotrices, SAE por sus siglas en inglés, organismo de normalización para el automóvil, dividió en 6 niveles la capacidad de conducción autónoma de un vehículo, desde los sistemas más básicos hasta la conducción plenamente autónoma. En base a ello podemos medir cómo de avanzada es la tecnología y la legislación en materia de coches autónomos.

Nivel 0: El coche no tiene ningún sistema automatizado que pueda tomar el control del vehículo; como mucho, puede tener sistemas que emitan alguna advertencia.

Nivel 1: Vehículos que incluyen sistemas de control de cruce adaptativo o tecnología para mantener al coche en el carril. Conducción asistida. Un ejemplo sería el limitador de velocidad.

Nivel 2: Los vehículos se comienzan a denominar semiautónomos. El conductor está obligado a estar alerta para tomar el control en cualquier momento ya que es posible que el coche no pueda responder adecuadamente. Es obligatorio que el sistema se desactive cuando el conductor toma el control. El vehículo Peugeot que viajó de Madrid a Vigo en noviembre de 2015 pertenece a este nivel.

Nivel 3: Los coches pueden circular de forma autónoma en entornos controlados como autopistas y autovías. Conducción autónoma condicionada. En este nivel se encuentra el sistema Autopilot de Tesla.

Nivel 4: Los coches autónomos pueden circular sin supervisión del conductor en

áreas restringidas donde el coche tenga suficiente información para no depender del conductor. Conducción altamente autónoma. En este nivel es donde sitúan Ford y BMW a sus prototipos que verán la luz en 2020.

Nivel 5: Conducción autónoma completa. El coche es capaz de circular por cualquier carretera o ciudad siempre y cuando sea legal. La tecnología permitiría al vehículo poder reaccionar ante cualquier imprevisto.

Durante una jornada celebrada por el Instituto de la Ingeniería de España en abril de 2016, la entonces directora general de la DGT María Seguí aseguró que en España hay fabricantes que están desarrollando vehículos para los niveles 3 y 4, que puedan circular de forma experimental, y está previsto que para finales de año ya tengamos alguno nivel 5. “Todos los fabricantes con los que hemos hablado han prometido tener en el mercado un vehículo autónomo nivel 5 en 2020”. Para que un nivel 5 pueda circular libremente por nuestras calles, hay que realizar una serie de modificaciones normativas relacionadas con la responsabilidad en un accidente del vehículo. La instrucción que ha firmado la DGT, con la cual se permite a los fabricantes probar los coches en España, nos sitúa en un grupo limitado de países que permiten este tipo de pruebas, como son Reino Unido, Países Bajos, Japón y dentro de Estados Unidos, California.

EL COCHE AUTÓNOMO TIENE FECHA 2020

La mayoría de los agentes implicados en estos momentos en el desarrollo de los vehículos sin conductor sitúan el 2020 como el año de su desembarco generalizado. El impulso definitivo, según Zuberoa Marcos en un artículo en *La Vanguardia digital*, podría llegar desde el gobierno de los Estados Unidos, pues Barack Obama ha manifestado recientemente su intención de apoyar con decisión esta tecnología mientras resaltaba que “los vehículos autónomos tienen el potencial para salvar decenas de miles de vidas cada año”.

Precisamente, estas afirmaciones fueron publicadas en un artículo en el *Pittsburgh Post-Gazette*. Un periódico local de la primera ciudad en permitir que circule por sus calles una flota de coches sin conductor de Uber que pueden ser solicitados a través de una aplicación móvil.

Sin embargo, no hay consenso entre los principales desarrolladores, sobre cuál es el mejor camino hacia el vehículo plenamente autónomo. En Silicon Valley hay al menos 19 iniciativas en marcha con este propósito, desde grandes fabricantes de automóviles como Nissan y Ford, hasta gigantes tecnológicos como Google, Baidu y Apple. Hemos de mencionar también la iniciativa Comma.ai fundada por



En el verano de 2016, la empresa nuTonomy filial del MIT de Massachusetts (USA), fue la primera en poner en servicio, en Singapur, el primer taxi sin conductor del mundo. El objetivo es implementar una flota de coches autónomos a pleno rendimiento en 2018.

Imagen de uno de los vehículos autónomos de Uber que operan en Pittsburg, Pensilvania. La iniciativa comenzó en septiembre de 2016 y de momento está siendo todo un éxito.

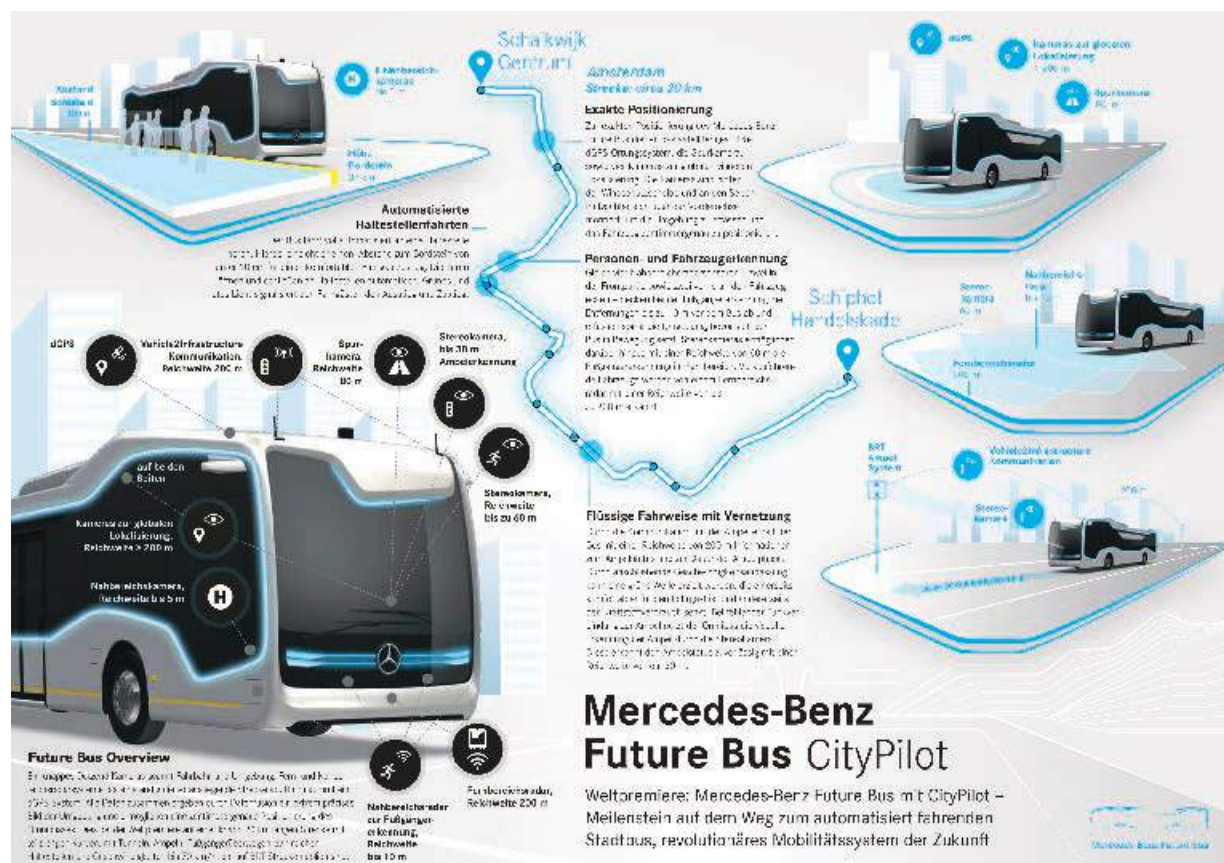
George Hotz⁵.

Al parecer vamos hacia un desarrollo tecnológico que tiene cuatro caminos fundamentales y teóricamente deberían desembocar todos en el vehículo de plena autonomía. Más que un desarrollo tecnológico, yo lo llamaría una carrera para ver quién es el primero que logra sacar al mercado un coche realmente autónomo. Estos cuatro caminos vienen determinados por la estrategia de los principales actores. Por una parte, Google, Uber y Ford, quienes pretenden desarrollar un coche sin volantes ni pedales. Por la otra, tenemos a Tesla con su sistema Autopilot, que ya ha sido capaz de sacar coches al mercado de nivel 3 de autonomía. Y opuesto a todo lo dicho anteriormente, encontramos el caso de Toyota, la principal fabricante de automóviles más grande del mundo, que no se ha unido a la prisa de la auto-conducción. Aunque ha establecido un laboratorio de investigación en Palo Alto, California, que no tiene como objetivo hacer un vehículo autónomo, sino un sistema computarizado capaz de hacerse con los mandos del coche sólo cuando el conductor humano cometiese algún error. Una especie de ángel guardián, como ellos mismos han expresado. Esta es la tercera posición de las cuatro antes mencionadas, la creación de sistemas de seguridad activa como complemento de la conducción humana.

Y por último y no menos importante podemos comentar por encima el caso de Comma.ai, una iniciativa que mencionábamos anteriormente, especializada en la creación de software dedicado al aprendizaje de las máquinas. ¿Pero cuál es el aporte de George Hotz en todo este debate? Pues, según mi opinión, es muy interesante lo que plantea este hacker desde su garaje, como no podía ser de otra manera. Hotz está desarrollando un software que a través de un kit instalable al vehículo y una app móvil pueden convertir a los coches en autónomos.

El objetivo de Comma.ai es recopilar una gran cantidad de información de conductores en sus trayectos diarios y aplicar el aprendizaje automático a esos datos para crear un algoritmo. De manera que si un coche autónomo se encuentra en una de estas situaciones sepa que debe hacer. El propio Hotz estima que para tener un sistema fiable y poderlo sacar al mercado necesita haber recopilado y analizado unos 16 millones de kilómetros. Para ello los servidores de Comma.ai recopilan datos de miles de conductores que se han unido al proyecto a través de una aplicación móvil.

⁵ George Hotz, más conocido en la comunidad *hacker* con el sobrenombre de Geohot. Fue el creador, en 2007 y con sólo 17 años, del software que permitió desbloquear por primera vez un iPhone. Fue demandado un par de años después por la compañía Sony tras *hackear* la PlayStation3, hecho que tuvo bastante repercusión a través de blogs y las redes sociales. La demanda acabó ante los tribunales con un acuerdo en el que Geohot se comprometía a no volver a hackear ningún dispositivo de la multinacional.



EL VEHICULO AUTÓNOMO COMO SERVICIO

La carrera del coche autónomo no solo se juega en el vehículo privado. De hecho, vemos que esta nueva tecnología tendría una gran aplicación en el transporte colectivo y de mercancías. Las empresas que brindan servicio de transporte de pasajeros y transporte de carga en carreteras son quienes más están apostando por el desarrollo del vehículo autónomo.

El 7 de abril de 2016, una docena de camiones llegaron al puerto de Rotterdam desde varios países europeos en un viaje de más de 2.000 kilómetros. Estos camiones, que venían en grupos de dos o tres vehículos en convoy, condujeron sin intervención humana durante gran parte del trayecto. Todo fue un experimento llevado a cabo por los seis principales fabricantes de camiones de Europa, DAF, Daimler, Iveco, MAN, Scania y Volvo, con el objetivo de ver si era posible mover transportes pesados autónomos entre diversos países europeos.

El objetivo de terminar el viaje en Rotterdam no era casual, puesto que los Países Bajos en 2014 empezaron a desarrollar un ambicioso plan de camiones autónomos, que estuviese operativo en el 2019. Esto permitiría gestionar de manera eficiente el flujo de transporte por carretera donde la presión del tráfico se ha visto incrementada en los últimos años. En el plan holandés, el transporte con Alemania cobraba una gran importancia ya que sus puertos reciben tanta mercancía alemana que cada año más de 6.5 millones de camiones atraviesan la frontera.

De promedio, el 72% de las mercancías que se mueven en la Unión Europea lo hacen a través de camiones. Una media que superan con creces Alemania y España donde se alcanzan las cifras de 80% y 85% respectivamente. Según Ramón Valdivia, director general de la Asociación de Transporte Internacional por Carretera (ASTIC), la previsión que tenemos es que para el 2050 se doble la demanda actual de transporte por carretera, lo que hace pensar en lo receptivos que pueden ser todos los países de Europa al plan holandés.

Mercedes Benz también es otra de las marcas que intenta desarrollar su prototipo para que sea lanzado al mercado en 2025. A su proyecto lo ha denominado Mercedes-Benz Future Truck 2025, un camión nivel 3 de autonomía que incluye un sistema llamado Highway Pilot, o sea, un piloto automático para autopistas. Algo similar al Autopilot de Tesla o al sistema Mercedes-Benz Intelligent Drive instalado en sus berlinas Clase E. Este piloto automático se comunicaría con otros vehículos mediante los sistemas V2V y V2I (WLAN) ofreciendo información a otros vehículos y a los centros de control de tráfico, de su posición, dimensiones, velocidad y maniobras que realice en un radio de medio kilómetro. Este prototipo

Infografía explicativa e imagen del proyecto piloto del primer autobús autónomo de grandes dimensiones que cubría la ruta de 12 kilómetros desde el aeropuerto de Schiphol hasta Harlem.

Una de las dos unidades autónomas de PostBus que operan en la ciudad suiza de Sion. La prueba comenzó en junio de 2016 y durará hasta octubre de 2017.



estuvo probándose el verano pasado en situaciones de tráfico real a velocidades de hasta 80 km/h en un tramo de la autovía A14, a su paso por Magdeburg, Alemania, por lo que aún en fase de pruebas ya es casi una realidad.

En octubre de 2016, se hacía eco una noticia en diversos medios de prensa sobre el primer camión autónomo en recorrer una distancia de 200 kilómetros a 90 km/h de media, transportando un cargamento real y convirtiéndose en el primer vehículo de uso comercial en el mundo de estas características. El cargamento, no podía ser otro que 50.000 latas de cerveza para la compañía Anheuser-Bush, y el promotor de esta noticia, no podría ser sino Uber. La gigante norteamericana que ha invertido cuantiosas sumas en varios proyectos para el desarrollo del coche autónomo.

El vehículo, un camión Volvo de la empresa Otto subsidiaria de Uber, recorrió unos 200 kilómetros sin conductor al volante por una transitada carretera de Colorado, Estados Unidos. El recorrido discurrió por la Interestatal 25, entre las localidades de Fort Collins y Colorado Springs, incluyendo el siempre complicado y congestionado tramo que atraviesa Denver, la capital del estado de Colorado. El sistema autónomo solo guió al camión en los tramos de carretera, ya que antes de salir a ella y en los tramos de ciudad un conductor profesional estuvo al volante. Según el comunicado de Otto, ese mismo conductor permaneció dentro de la cabina en todo momento junto a miembros de la Patrulla de Caminos de Colorado, que estuvieron alerta durante todo el experimento. La experiencia piloto ha sido todo un éxito, Otto ha conseguido que su prototipo sea considerado el primer vehículo autónomo que genera ingresos directos para su empresa, pues por las dos horas que duró el servicio, el cliente pagó 470 dólares.

El pasado agosto de 2016, Uber compró Otto por 680 millones de dólares, una empresa de tecnología que desarrollaba un kit adaptable a cualquier camión producido posteriormente al año 2013. Los ingenieros de Otto aseguraban convertir cualquier camión en autónomo por la módica suma de 30.000 dólares. La empresa se nutría de varios empleados provenientes de Google, Apple, Tesla o Here Maps, donde desarrollaban proyectos relacionados al coche autónomo. La idea de Uber consiste en estrenar en 2017, casi a punto de tocar, un servicio de transporte de mercancías con camiones autónomos que incorporen la tecnología de Otto. Según Lior Ron, ingeniero de Otto, serán 15 camiones en total efectuando repartos a almacenes y tiendas de los Estados Unidos. De esta manera Uber se lanza de lleno al mercado de las operaciones logísticas que mueve 700.000 millones de dólares anuales.

Camión de la empresa Otto de Uber durante la prueba piloto en Colorado.

Imagen del prototipo Mercedes-Benz Future Truck mientras realizaba pruebas piloto. Es una visión futurística de la marca sobre cómo debería ser el transporte de mercancías del futuro.

Unidad autónoma de PostBus que opera en Sion

los CAMINOS DE FUTURO HACIA LAS CARRETERAS INTELIGENTES se están planificando. En lugar de que los humanos conduzcan automóviles, las máquinas lo harán mucho mejor y de forma más segura, avanzando más rápido de lo que habíamos anticipado. Es posible que mucho antes



cando hoy. En palabras de Elon Musk, el fundador de Tesla, en un futuro estará prohibido
a más segura. La tecnología y el desarrollo en el campo de la inteligencia artificial están
s de lo que podamos imaginarnos, el vehículo autónomo ya sea toda una realidad.

¿ESTAMOS PREPARADOS LOS HUMANOS?

RESEÑAS BIOGRÁFICAS



SEBASTIÁN GUERRERO RAMOS. Director de Estudios de ESTEYCO, Socio y Patrono de la Fundación ESTEYCO. Nacido en Setenil (Cádiz). Con una experiencia de 44 años, de ellos 31 en Esteyco, especialista en Infraestructuras del Transporte y Auditor de Seguridad Vial por la Universidad Politécnica de Cataluña. Destacando entre sus principales funciones, la coordinación, la dirección de proyectos y la gestión técnica- comercial con clientes de distintas Administraciones. Forma parte del departamento de Supervisión de ESTEYCO, desde donde se han supervisado proyectos de infraestructuras desde el año 1994.

Fue parte integrante del equipo que desarrolló en Barcelona los proyectos de infraestructuras más significativos que se llevaron a cabo durante los años previos a los Juegos Olímpicos de Barcelona 92 y del Fórum de las Culturas 2004. A posteriori ha participado en números estudios y proyectos de infraestructuras viarias y ferroviarias como: la Ronda del Vallés, la Ronda del Maresme, así como diversos tramos de la Autovía Mudéjar para el Ministerio de Fomento, el Eje Transversal Ferroviario de Cataluña, accesos viarios al Puerto de Barcelona, el túnel de la Plaza de las Glorias de Barcelona y la ampliación de la Terminal Marítima de Zaragoza, entre otros. También forma parte los Comités Nacionales: Túneles de Carreteras y Carreteras Interurbanas y Transporte Integrado Interurbano, de la Asociación Técnica de Carreteras y de la “World Road Association Mondiale de la Route”. Como ponente ha participado en diversos congresos de carreteras, a nivel nacional e internacional.



ÓSCAR GUTIÉRREZ-BOLÍVAR es ingeniero de caminos y en la actualidad está en la Dirección Técnica de La DGC del Mº de Fomento.

Es coordinador de los comités internacionales encuadrados en el Tema Estratégico D, Infraestructuras, de la Asociación Mundial de la Carretera (PIARC-AIPCR). Es también coordinador de los comités nacionales de la ATC-PIARC.

La mitad de su vida profesional la ha desarrollado en el CEDEX como Jefe de Área y como Director del Laboratorio de Infraestructura Viaria. El resto en empresas de construcción, conservación y consultoría.

Es profesor asociado de la ETSICCP de Madrid-UPM en temas de gestión empresarial. Ha sido miembro de diversos comités nacionales e internacionales de distintas organizaciones. Ponente y profesor en conferencias y cursos nacionales e internacionales.

Autor o coautor de publicaciones diversas enfocadas principalmente a la gestión integral del patrimonio viario.



JOAN MORENO SANZ nace en Barcelona en 1979. Arquitecto por la ETS de Arquitectura de Barcelona (2004), Máster en investigación en urbanismo (2010) y Doctor en urbanismo con mención internacional (2014) con la tesis titulada: “Esquinas territoriales: movilidad y ordenación territorial, un modelo de ordenación: el Randstad-Holland” por la Universidad Politécnica de Catalunya, sobre las nuevas centralidades urbanas en el entorno de la red de transporte neerlandesa: <http://www.tdx.cat/handle/10803/134223>. Premio Extraordinario de Doctorado de la UPC 2016, en el ámbito de la arquitectura, el urbanismo y la edificación.

Desde 2007 colabora como docente especializado en urbanismo en los cursos de grado en Arquitectura de la ETS de Arquitectura de Barcelona (UPC), Máster de planificación Territorial de la Escuela de Geografía de la (URV), *European Postgraduate Master in Urbanism* (EMU), Escuela de Arquitectura ESARQ (UIC), y ETS de Arquitectura del Vallés (UPC). Sus investigaciones sobre el rol de la infraestructura de transporte en el sistema de centralidades territoriales han sido ampliamente difundidas en revistas científicas como *Scripta Nova*, y en numerosos congresos internacionales.

Profesionalmente ha colaborado desde 2004 como técnico municipal con diversas administraciones públicas en la redacción de figuras de planificación regional y local, como el Ayuntamiento de Sabadell o el Área Metropolitana de Barcelona. En la actualidad forma parte del Departamento de Arquitectura y Urbanismo de ESTEYCO.



JORDI MORELLÓ SECANELL nace en Barcelona, en 1985. Arquitecto por la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona en 2010, (UPC – BarcelonaTech). Inicia su trayectoria profesional durante los estudios en un despacho de arquitectura especializado en planeamiento urbanístico, proyectos de edificación y equipamientos para la administración pública como *Infraestructures.cat*. En 2011 se incorpora a ESTEYCO formando parte del Departamento de Arquitectura y Urbanismo.

Desde entonces participa junto al equipo multidisciplinar de ESTEYCO en la redacción de diferentes concursos, proyectos de arquitectura y urbanismo como el análisis de conectividad entre Bogotá y la Calera, en Colombia o la urbanización de los accesos sobre el eje ferroviario de Sants en Barcelona. También interviene en proyectos de integración en el campo de la ingeniería viaria y ferroviaria como los túneles de la Plaza de las Glorias de Barcelona o la estación de alta velocidad de Sanabria en Zamora. Todo ello desarrollado para distintas administraciones locales, nacionales e internacionales. Por otro lado, colabora en la edición de publicaciones de carácter técnico y divulgativo para la FUNDACIÓN ESTEYCO.



MICHEL ORTIZ VALDÉS nace en La Habana en 1983, Arquitecto por la Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès ETSAV en 2013, (UPC - BarcelonaTech). Cursa estudios de arquitectura en el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría en La Habana ISPJAE y en la Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de València ETSA València, UPV.

Inicia su trayectoria profesional compaginándola con los estudios en ESTEYCO en 2008, colaborando en la redacción de diversos proyectos de arquitectura y urbanismo, así como en el campo de la ingeniería viaria y ferroviaria. La Urbanización del Sector de Les Casernes de Sant Andreu, la Urbanización del Barrio de la Marina del Prat Vermell, la Urbanización de la Cubierta sobre el eje ferroviario de acceso a la Estación de Sants y el proyecto constructivo de los Túneles de La Plaça de Les Glòries de Barcelona, son algunos de los proyectos más importantes donde ha participado desde entonces. Desde 2014 trabaja de manera proactiva en la aplicación de las metodologías y estándares BIM en la redacción de proyectos de ESTEYCO



DANIEL RODRÍGUEZ ARANDA nace en Terrassa (Barcelona) en 1972. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la UPC y Técnico Urbanista por la Escuela de Administración Pública de Catalunya. Inicia su trayectoria profesional con el Profesor y Urbanista Manuel Herce, participando en la redacción de más de 30 proyectos de urbanización en diversas localidades de Barcelona y su entorno, así como en estudios de trazado de nuevas autovías y del Eje Transversal Ferroviario de Catalunya

Desde 2013 forma parte del equipo de ESTEYCO, donde ha intervenido en varios proyectos, tanto en España como en Colombia y Chile, entre los que destaca la propuesta de trazado de la carretera Panamericana de conexión entre Colombia y Ecuador o la prolongación de la línea de los Ferrocarriles Vascos hacia el aeropuerto de Bilbao.

Profesor asociado de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona desde 2007, impartiendo docencia en las áreas de Urbanismo, Sistemas Territoriales y Planeamiento Urbano. Ha dirigido más de 200 proyectos finales de carrera, principalmente referidos a redes viarias, ferroviarias y de reforma urbana.



JAVIER RUI-WAMBA MARTIJA, nace en Gernika en 1942. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad Politécnica de Madrid. Se inicia profesionalmente en el Plan Sur de Valencia y en la oficina de Freyssinet en París (1969). Funda la Sociedad de Ingeniería Esteyco en 1970, dirigiendo a un equipo pluridisciplinar, actualmente de 160 personas, con oficinas en Barcelona, Madrid, Bilbao, Bogotá, México, Chile, Brasil y presencia profesional en numerosos países. Ha realizado más de 800 proyectos y direcciones de obras, y trabajos de I+D+i.

Durante 17 años, hasta 1991, fue Profesor de Estructuras y Puentes Metálicos en la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid. Profesor honorífico de la Universidad Politécnica de Cataluña. Conferenciante invitado a nivel nacional e internacional. Ha presidido la Asociación Española de Consultores en Ingeniería. Miembro de honor y medalla de la ATEP por la contribución al desarrollo del hormigón pretensado en España en 1987. Medalla al Mérito Profesional (1992) y Medalla de Honor (2013) del Colegio Nacional de Ingenieros de Caminos. Medalla Ildefonso Cerdá 2015 del Colegio de Ingenieros de Caminos de Cataluña. Premio Construmat 1993. Premio ALE Heavylift a “Toda una vida” (2013). Premio Nacional de Ingeniería Civil 2016. Miembro Numerario de la Real Academia de Ingeniería (1998). Preside también la Fundación ESTEYCO, que creó en 1991.



ANDREU ULIED, Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (Universidad Politécnica de Cataluña, UPC). Master en planificación MDesS (Universidad de Harvard, GSD). Socio-Director de Multicriteria Consulting MCRIT. S.L. (www.mcrit.com).

Co-director del curso sobre evaluación de inversiones urbanas y de transporte del Colegio de Ingenieros de Caminos y de Economistas de Cataluña. Miembro de la Comisión de Urbanismo de Cataluña, del Comité Científico del Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña y del Centro de Estudios del Transporte de la UPC.

Trabaja como consultor para instituciones internacionales como el Banco Mundial, el Banco Inter-Americano de Desarrollo, y europeas como la Comisión Europea, el Parlamento y el Comité de Regiones. En España ha trabajado para todo tipo de instituciones públicas y empresas sobre todo gestores de infraestructuras, operadores de transporte, y empresas de ingeniería.



ANDREU ESTANY i SERRA, Socio, Director del Departamento de Arquitectura de ESTEYCO y Patrono de la FUNDACIÓN. Arquitecto titulado por la ETSAB-UPC (1991) y Diplomado de Postgrado en *La Gran Escala: Arquitectura de Nuevos Entornos* (1995).

Desde 1991 forma parte del equipo multidisciplinar de ESTEYCO, proyectando y dirigiendo obras de urbanismo, arquitectura e ingeniería civil. Entre sus trabajos destacan: para el IMPU, obras de las infraestructuras olímpicas de Barcelona 92; proyectos de integración paisajística de infraestructuras y proyectos de urbanización: Casernes de Sant Andreu, Plaza del Fórum, accesos a la Estación de Sants y Marina del Prat Vermell *smart city concept*, en Barcelona; Vapor Gran y Torresana en Terrassa; Estaciones de ferrocarril para el ADIF, ETS y Ferrocarriles de Canarias.

Participa regularmente como ponente en congresos y seminarios técnicos de Urbanismo, integración de Infraestructuras y Paisajismo. La FUNDACIÓN ESTEYCO le ha publicado los libros: *Arquitectos entre Ingenieros* (2008) y *Cartagena de Indias. Realidad y Futuro* (2013), y ha escrito artículos sobre proyectos realizados en revistas especializadas: *Ingeniería y Territorio* y *Bilbao Ría 2000*. Ha coordinado y dirigido la presente edición de la publicación.

AGRADECIMIENTOS

SUSANNA CUBINO, LAURA MARCH, ESTEYCO

TERESA NAVAS, Universidad Politécnica de Cataluña UPC

APPLUS

ASOCIACIÓN TÉCNICA DE CARRETERAS (ATC)

DORTOKA

PABLO ALZOLA
LA ESTÉTICA DE LAS OBRAS PÚBLICAS /ESTETICA HERRI-LANETAN *

LUCIO DEL VALLE
MEMORIA SOBRE LA SITUACIÓN, DISPOSICIÓN Y CONSTRUCCIÓN
DE LOS PUENTES. 1844 *

EN TORNO A LEONARDO TORRES QUEVEDO Y EL TRANSBORDADOR DEL NIÁGARA *

JULIO CANO LASSO
CONVERSACIONES CON UN ARQUITECTO DEL PASADO

CARLOS FERNÁNDEZ CASADO *

JAVIER RUI-WAMBA MARTIJA
AFORISMOS ESTRUCTURALES / STRUCTURAL APHORISMS

MARIO ONZAIN
LA RÍA DE BILBAO

ANTONIO FERNÁNDEZ ALBA
ESPACIOS DE LA NORMA. LUGARES DE INVENCION. 1980-2000

JOSÉ LUIS MANZANARES
LAS PUERTAS DEL AGUA

VARIOS AUTORES
LAS GEOMETRÍAS DEL TREN / LES GEOMETRIES DEL TREN

EUGÈNE FREYSSINET. FRANK GUYON. JAVIER RUI-WAMBA Y ANTONIO F. ALBA
EUGÈNE FREYSSINET
UN INGENIERO REVOLUCIONARIO / UN INGÉNIEUR RÉVOLUTIONNAIRE

MIGUEL AGUILÓ. JAVIER MANTEROLA. MARIO ONZAIN. JAVIER RUI-WAMBA
JAVIER MANTEROLA ARMISÉN. PENSAMIENTO Y OBRA

PABLO OLALQUIAGA. ALFONSO OLALQUIAGA
EL LIBRO DE LAS CURVAS *

JOSÉ SERNA GARCÍA-CONDE
LOS PUENTES DEL TREN

FRANCISCO GALÁN SORALUÇE
LA ENERGÍA DE LOS FLÚIDOS

ANDREU ESTANY I SERRA. JAVIER RUI-WAMBA. GLORIA IRIARTE. MARIO ONZAIN
ARQUITECTES ENTRE ENGINYERS / ARQUITECTOS ENTRE INGENIEROS

JAVIER MUÑOZ ÁLVAREZ. JOSEFINA GÓMEZ MENDOZA. JAVIER RUI-WAMBA MARTIJA
LA MODERNIDAD DE Cerdá: MÁS ALLÁ DEL “ENSANCHE”

ALGUNOS APUNTES DE INGENIERÍA Y CULTURA

VARIOS AUTORES
LA INGENIERÍA DE LA BICICLETA

VARIOS AUTORES
ARQUITECTURA E INFRAESTRUCTURAS

LUIS IRASTORZA
LAS CIUDADES DEL SIGLO XXI

ENSAYO SOBRE SUS FUNDAMENTOS SOCIOECONÓMICOS, TECNOLÓGICOS, ENERGÉTICOS Y CLIMÁTICOS

ANDREU ESTANY I SERRA
CARTAGENA DE INDIA, REALIDAD Y FUTURO

ROGER BESORA I FOIX
A LA LUZ DE SAN PETERSBURGO • В СВЕТЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

RAMÓN LÓPEZ MENDIZABAL
CON EL VIENTO A FAVOR • WITH A FAIR WIND



LA PRESENTE PUBLICACIÓN HA SIDO EDITADA POR LA FUNDACIÓN ESTEYCO



**FUNDACION
ESTEYCO**

Menéndez Pidal, 17. 28036 Madrid

fundacion@esteyco.com

www.fundacionesteyco.com



FUNDACION
ESTEYCO